

TFC: Enginyeria Tècnica Naval En Serveis i Propulsió del Vaixell

L'ISO 12215-5

Estudi de la norma
i creació d'un software de càlcul d'escantillonat.

Autor: Pau Closa González

Director: Alejandro Besednjak

Escola: FNB (UPC)

Departament: Construcció Naval

Gener de 2013

Agraïments

Als meus amics, Artur Vilà i Josep Ramon Vidal, sense ells hagués estat impossible fer aquest treball, per ajudar-me i ensenyar-me les bases de la programació amb java i per guiar-me en l'enteniment de l'ISO, gràcies als dos per la paciència i per les moltes hores invertides.

També vull agrair a l'Alejandro Besednjak el suport rebut per a fer aquest projecte i per donar-me les directrius per enfocar-lo i millorar-lo.

Finalment vull agrair a la Verònica Renom haver estat constantment donant-me suport i consells en els moments en els que més ho he necessitat.

A tots ells, gràcies de tot cor.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	4
1.1. MOTIVACIÓ	5
1.2. OBJECTIUS	6
1.3. DEFINICIONS	7
2. CAS PRÀCTIC DE CàLCUL D'UN PANELL DE FONSS.....	8
3. FACTORS D'AJUST DE LA PRESSIÓ	9
3.1 FACTOR DE CATEGORIA DE DISSENY K_{DC}	9
3.2. TIPUS DE MOTORA:	9
4. FACTOR DE CàRREGA DINÀMICA N_{CG}.....	9
5. FACTOR LONGITUDINAL DE DISTRIBUCIÓ DE LA PRESSIÓ K_L	10
6. FACTOR DE REDUCCIÓ DE LA PRESSIÓ SEGONS LA SUPERFÍCIE ...	11
6.1. CàLCUL DE A_D	11
6.2 CàLCUL DE K_R	12
6.3 CàLCULS FINALS I VALORS MÍNIMS DE K_{AR}	12
7. CàLCUL DE LA PRESSIÓ DE FONSS PER A PLANEJADORES	13
7.1 PRESSIÓ DE DISSENY EN ELS FONSS PER A LES EMBARCACIONS DE MOTOR EN LA MODALITAT DE PLANEJADORA.....	13
8. CàLCUL DE L'ESPESSOR D'UN MONOLÍTIC.....	15
9. CàLCUL DE L'ESPESSOR DEL MATEIX PANELL PERÒ DE TIPUS SANDWICH	22
9. 1. VALORS MÍNIMS DEL MÒDUL D'INÈRCIA I DEL SEGON MOMENT.....	22
9.1.2. Mòdul requerit per a la capa interior d'un panell sandwich	23
9.1.3. Espessor requerit per a suportar el esforç de cisalla	25
9.1.4. Requisits de massa mínima de fibra dels panells tipus sandwich	28
10. REFORÇOS.....	29
10.1. CàLCUL DE LA PRESSIÓ DE DISSENY PER A UN REFORÇ	29
10.2. FACTORS D'AJUST DE LES PROPIETATS DELS REFORÇOS.....	30
10.2.2. Factor d'ajust per curvatura dels reforços.	30
10.2.3. Factor de superfície de cisalla d'un reforç.	30
10.2.4. Per a tots els materials: superfície de cisalla i mòdul d'inèrcia mínim.	30
10.2.5. Requisits suplementaris de rigidesa pels laminats de FRP	31
10.2.6. Propietats geomètriques dels reforços	32
11. ANÀLISI CAPA A CAPA DEL CONJUNT DEL LAMINAT SEGONS L'ANNEX H.....	33
11.1. L'ANNEX "H"	33
11.2. OBJECTIU DEL ANNEX H.....	33
11.3. CASOS D'ESTUDI	33
11.4. ESFORÇ DE CISALLA I MOMENT FLECTOR SOBRE UN PANELL	33
11.5. ANÀLISIS CAPA A CAPA D'UN LAMINAT. TAULA H.2.	35

12. ESCANTILLONAT DE PANELLS DE FUSTA.....	49
12.1. CONSIDERACIONS SOBRE LA FUSTA	49
12.2. CONTRAPLACAT MARÍ	49
12.3. FUSTA MODELADA IN SITU.....	50
12.4. TIRES UNIDES ENCOLADES (“STRIP PLANKING”).....	51
12.5. PROCEDIMENT D'ESCANTILLONAT AMB FUSTA.....	52
 13. CÀLCUL DE LA PRESSIÓ DE COBERTA Y SUPERESTRUCTURES....	55
13.1. FACTOR DE REDUCCIÓ PARA A LES SUPERESTRUCTURES I CASETES	55
13.2. Exemple 1	56
13.3. Exemple 2	57
13.4. Exemple 3	57
13.5. Exemple 4	57
 14. EXEMPLES D'APLICACIÓ.....	59
14.1. CÀLCUL DE UN CONTINGUT TOTAL DE FIBRA EN MASSA	59
14.2. CONTINGUT DE FIBRA EN MASSA D'UN LAMINAT I EL SEU ESPESSOR.....	59
14.3. CONTINGUT DE FIBRA EN MASSA PER A UNA FIBRA DIFERENT A LA DE LA FIBRA TIPUS E	60
14.4. PROPIETATS EN FLEXIÓ PER A UNA FIBRA DIFERENT A LA DEL VIDRE TIPUS E..	60
14.5. Exemple 1	61
14.6. Exemple 2	62
14.7. Exemple 3	62
 15. SOFTWARE EXISTENT	63
15.1. EL HULLSCANT.....	63
 16. EL NOSTRE SOFTWARE	65
16.1. ESPECIFICACIÓ DEL PROGRAMA	65
16.2. ANÀLISI DE REQUERIMENTS.....	65
16.2.1. REQUERIMENTS FUNCIONALS:.....	65
16.2.2. REQUERIMENTS NO FUNCIONALS:	66
16.3. DIAGRAMA DE CASOS D'ÚS:.....	67
16.4. ESPECIFICACIÓ DE CASOS D'ÚS:	68
 17. TECNOLOGIES UTILITZADES	76
 18. IMPACTE AMBIENTAL I SOCIAL.....	77
 19. CONCLUSIONS.....	78
19.1 OBJECTIUS ASSOLITS.....	78
19.2 FUTURES AMPLIACIONS	78
19.3 VALORACIÓ PERSONAL	78
 20. BIBLIOGRAFIA	80

1. INTRODUCCIÓ

Segons el llibre de “Curso metódico de arquitectura naval” de D. Juan Monjo i Pons publicat a Barcelona al 1856, *“la disposición y proporciones de las partes que entran en la fábrica de la nave no pueden determinarse con exactitud, como las que concurren en la composición de los edificios terrestres, fundados sobre una base inmóvil y sólida ó como las que componen las máquinas, que se hallan actuadas por fuerzas conocidas y constantes. Las fuerzas que trabajan a la embarcación varían continuamente de intensidad y dirección, y su apreciación perfectamente es todavía un problema. Para no exponerse a ser víctima de dudosas teorías, no hay más recurso que observar los efectos que en la embarcación produce la continuada acción de balances y cabezadas en mar gruesa y tiempo duro. Las alteraciones que se observen en las juntas y estructura general indicaran dónde existe la debilidad relativa (...). Las proporciones de las piezas de la nave dependen pues, de la experiencia. No a todos los buques de igual tamaño deben darse iguales gruesos.”* Després de més d'un segle, aquelles dubtoses teories de les quals fa referència D. Juan Monjo i Pons són la base de els reglaments de les diferents normatives i SS.CC.

La norma ISO 12215-5:2008 és una norma molt completa, molt versàtil, doncs es pot aplicar a multitud d'embarcacions i permet entendre altres reglaments de SS.CC.

Tracta sobre l'escantillonat de vaixells d'eslores menors a 24m, ja siguin velers o motors. Escantillonar significa crear patrons constructius, en aquest cas la ISO 12215-5:2008 s'encarrega de definir aquests determinats patrons per a establir correctament un espessor mínim per a les planxes i els reforços, per tal de garantir la seguretat del vaixell.

Aquesta ISO tracta amb diversos materials com la fibra de vidre, la fibra d'aramida, la fibra de carboni, la fusta o l'acer, i dona paràmetres i valors mitjançant els quals hom es pot anar guiant.

En aquest projecte s'ha realitzat un manual, amb exemples calculats i comprovats per tal de facilitar l'enteniment de la ISO a qualsevol usuari. A més s'ha construït un software destinat a la mateixa funció.

El programa realitzat va centrat a la construcció de planxes monolítiques, específicament de fibra de vidre per ser la més utilitzada en embarcacions d'esbarjo actualment. En un futur el programa s'ampliarà i inclourà altres materials així com els reforços també i altres normatives.

1.1. MOTIVACIÓ

Primer de tot, cal dir que les motivacions per fer aquest projecte van sorgir directament del Projecte Llagut 2.0 en el que vaig tenir la sort de poder participar. Va ser allà on, amb els coneixements que anava adquirint i les dinàmiques de treball realitzades vaig desenvolupar les següents motivacions que em van dur finalment a la realització d'aquest projecte.

Un dels problemes amb els que hom es troba quan vol dissenyar un vaixell és trobar un "manual" amb uns determinats passos a seguir. La major part de llibres divulgatius que diuen ser manuals per a dissenyar el teu propi vaixell no aporten cap mena d'ajut.

D'altra banda, els llibres de càlcul d'estructures navals no aporten una visió global dels passos a seguir, creant encara més dubtes al lector. De vegades el lector s'enfonsa amb tanta i tanta informació, arribant a un punt on no sap discernir del que és útil i del que no ho és.

També cal dir que moltes són les persones que asseguren ser capaces de dissenyar un vaixell, però ben lluny de la realitat, o bé no en saben o bé no volen ensenyar.

Sempre he pensat que quan hom té un coneixement, aquest coneixement és molt més útil si el comparteix amb els altres, i per això m'he proposat aprendre sobre la ISO 12215-5:2008. M'ha motivat el fet d'haver-la de desgranar i fer-la més entenedora, amb exemples pràctics.

L'altra motivació que he tingut ha estat aprendre les nocions bàsiques de la programació amb java. Així com en html també. Abans d'aquest projecte no havia programat mai, més enllà de Dev-C ++ impartit a la facultat. Però sempre m'ha cridat l'atenció el fet de programar, crec que hauria de ser bàsic invertir més hores en qualsevol enginyeria per aprendre programació, possiblement a un nivell més pràctic.

El programa ha estat en certa manera el fruit de tot l'esforç dedicat. D'alguna manera he aconseguit ajuntar les meves dues motivacions en el projecte obtenint un programa didàctic i entenedor en java sobre la norma ISO 12215-5:2008.

1.2. OBJECTIUS

Aquest projecte té dos objectius principals, el primer és intentar aclarir o facilitar l'enteniment de manera didàctica la ISO12215-5:2008 ja sigui per a petites empreses o per a enginyers. Aquest objectiu esdevé la primera part del treball en la que s'ha intentat fer un manual d'utilització de la ISO simplificant-la però mantenint l'essència d'aquesta.

Per a fer-la didàctica i de fàcil enteniment s'han calculat uns pocs panells i reforços d'una embarcació a motor de desplaçament i s'han realitzat diversos exemples pràctics. Ja que la millor manera d'entendre és fer.

L'enteniment d'aquests exemples ens permetrà conèixer altre casos ja que la manera de fer és similar en tots els casos.

El segon objectiu, no menys important, i la segona part del treball, ha estat la creació d'un programa amb la plataforma java i html, per tal d'aplicar en aquest els coneixements adquirits al llarg de la realització de la primera part.

La idea del programa ha estat en tot moment la de facilitar una ajuda didàctica i senzilla a petites empreses d'enginyeria per a calcular l'espessor mínim estipulat per la normativa ISO 12215-5:2008, a l'hora de fabricar les planxes de fibra de vidre del casc, així com de la superestructura.

També s'ha procurat dissenyar el programa d'una manera oberta per tal de que en un futur pròxim es pugui ampliar amb més funcionalitats i amb més ISO's implementades. Quan el programa sigui prou sòlid s'ha pensat en posar-lo a la venda i obtenir rendibilitat d'aquest a llarg termini.

D'altra banda, l'objectiu de fons que sempre ha regit aquest projecte ha estat el d'aprendre les nocions bàsiques de la programació.

Gràcies al que he après en tot aquest temps de projecte ara no descarto fer un altre programa en el futur i/o ampliar aquest de manera important. Crec que tot producte és millorable, però estic satisfet dels resultats obtinguts.

En molts casos el més important no és el final del camí, sinó el mateix camí que s'ha recorregut. Sento que aquest és un d'aquests casos, i amb aquesta idea em quedo.

1.3. DEFINICIONS

La resposta primària:

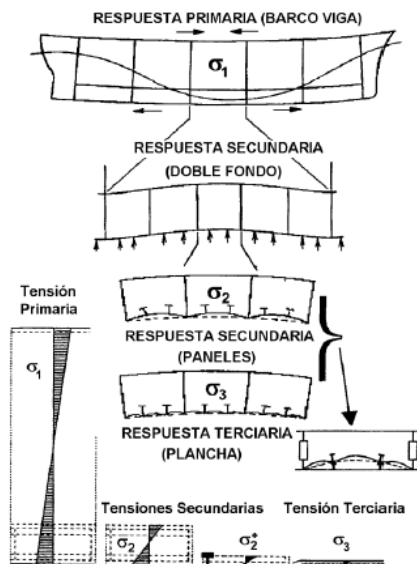
La resposta primària és la corresponent al vaixell en conjunt quan aquest es corba com una biga sotmesa a una distribució longitudinal de càrrega i crea unes tensions longitudinals al llarg de tot el puntal del casc.

La resposta secundària:

La resposta secundària es refereix a la flexió global dels panells reforçats i a la flexió del doble fons si en té. Els perfils i la planxa a la que s'uneixen aquests flexionen sota una càrrega perpendicular creant en el panell tensió addicional al seu pla, doncs acta com l'ala del perfil.

La resposta terciària:

La resposta terciària descriu la deformació fora del pla i la tensió associada d'un panell no reforçat inclòs entre dos longitudinals i dos quadernes o varengues.



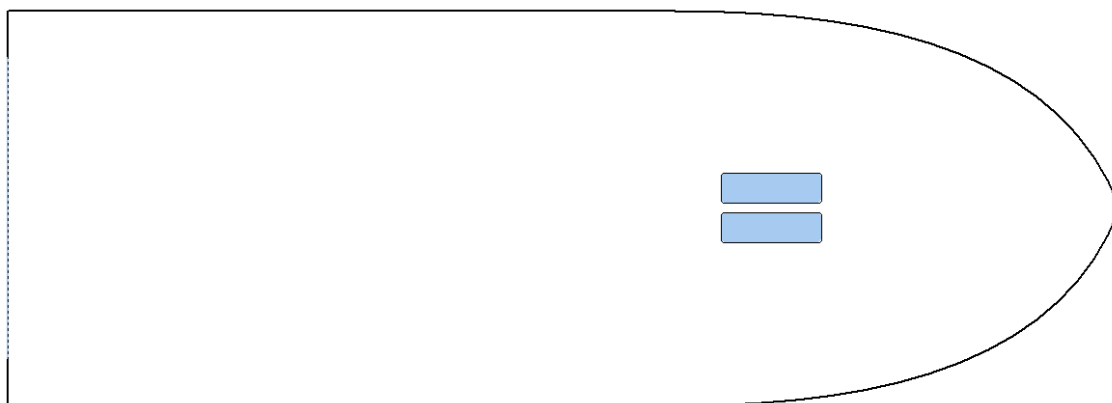
Respuesta primaria (Casco), secundaria (doble fondo y paneles reforzados), y terciaria (plancha).

2. CAS PRÀCTIC DE CàLCUL D'UN PANELL DE FON

Les dades de l'embarcació són les següents:

$L_H=11\text{m.}$	$\beta_{0,4}=20^\circ$
$L_{WL}=9,8\text{m.}$	$V=30\text{ Kn}$
$B_{WL}=3\text{m.}$	$m_{LDC}=8000\text{ kg}$
$B_C=2,8\text{m.}$	Categoria de disseny: A
Tipus d'embarcació: Motora	

Ara analitzarem com exemple un panell de fons amb el seu centre geomètric situat a 7,5 m. respecte la popa del vaixell en la línia de flotació, el panell té les dimensions de $l=1000\text{ mm}$ i $b=300\text{ mm}$.



A més no s'espera que l'embarcació faci varada damunt d'objectes punxeguts.

3. FACTORS D'AJUST DE LA PRESSIÓ

3.1 FACTOR DE CATEGORIA DE DISSENY K_{DC}

El factor de categoria de disseny k_{DC} està definit en la taula 2, i té en compte la variació de les càrregues de pressió degudes a la mar amb la categoria de disseny. Com que la nostra categoria de disseny és A, k_{DC} es igual a 1.

3.2. TIPUS DE MOTORA:

Segons el punt 3.8 de la norma ISO 12215-5 una embarcació és planejadora si l'embarcació a la velocitat màxima en mar plana i en condicions de càrrega m_{LDC} declarada pel constructor és tal que:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \geq 5$$

En el cas de la nostra embarcació:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = \frac{30}{\sqrt{9,8}} = 9,583 > 5$$

Per tant és planejadora.

4. FACTOR DE CÀRREGA DINÀMICA n_{CG}

El factor de càrrega dinàmica n_{CG} de les embarcacions planejadores a motor s'ha de determinar amb ajuda de les equacions següents, que no han de ser dimensionament correctes:

$$n_{CG} = 0,32 \cdot \left(\frac{L_{WL}}{10 \cdot B_C} + 0,084 \right) \cdot (50 - \beta_{0,4}) \cdot \frac{V^2 \cdot B_C^2}{m_{LDC}}$$

Amb les nostres dades:

$$n_{CG} = 0,32 \cdot \left(\frac{9,8}{10 \cdot 2,8} + 0,084 \right) \cdot (50 - 20) \cdot \frac{30^2 \cdot 2,8^2}{8000} = 3,674$$

Com que aquest valor és més gran que 3 s'utilitza el valor donat per la següent equació:

$$n_{CG} = \frac{0,5 \cdot V}{m_{LDC}^{0,17}} = \frac{0,5 \cdot 30}{8000^{0,17}} = 3,255$$

En qualsevol cas s'ha de complir que: $n_{CG} \leq 7$.

El factor n_{CG} té la missió de protegir l'embarcació i la tripulació dels efectes de la velocitat i mantenir les acceleracions degudes al "slamming" dins uns límits de seguretat i confort acceptables. La tripulació de les embarcacions "super esportives" o de competició pot acceptar moviments més violents que la d'una embarcació familiar de creuer, però necessiten d'un suport especial per al cos,

seients esmorteïdors o equips per a prevenir els danys deguts a valors de “g” elevats.

Per als velers cal prendre el valor de $n_{CG} = 3$. A més si es necessita d'una estimació de la velocitat es pot acceptar que la velocitat del veler sigui igual a $2,36 \cdot (L_{WL})^{0,5}$.

5. FACTOR LONGITUDINAL DE DISTRIBUCIÓ DE LA PRESSIÓ k_L

El factor longitudinal de distribució de la pressió k_L té en compte la variació de les càrregues de pressió degudes a la situació en l'embarcació. Aquest factor és funció del factor de càrrega dinàmica n_{CG} . Es calcula amb les següents equacions:

$$k_L = \frac{1 - 0,167 \cdot n_{CG}}{0,6} \cdot \frac{x}{L_{WL}} + 0,167 \cdot n_{CG} \quad \text{sense ser major a 1, per a } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0,6$$

El valor de “x” es pot trobar de diverses maneres, però la que en general s'utilitza és la següent. “x” és la posició longitudinal del centre geomètric del panell pres des de popa cap a proa en la línia de flotació.

$$k_L = 1 \quad \text{per a } \frac{x}{L_{WL}} > 0,6$$

Primer calculem la relació $\frac{x}{L_{WL}} = \frac{7,5}{9,8} = 0,765$ com que dita relació és més gran que 0,6 aleshores, $k_L = 1$

6. FACTOR DE REDUCCIÓ DE LA PRESSIÓ SEGONS LA SUPERFÍCIE

El factor de reducció de la pressió segons la superfície k_{AR} té en compte la variació de les càrregues de pressió segons les dimensions del panell o del reforç.

$$k_{AR} = \frac{k_R \cdot 0,1 \cdot m_{LDC}^{0,15}}{A_D^{0,3}}$$

En qualsevol cas el valor màxim de $k_{AR} \leq 1$.

6.1. Càlcul de A_D

A_D és l'àrea de disseny en metres quadrats:

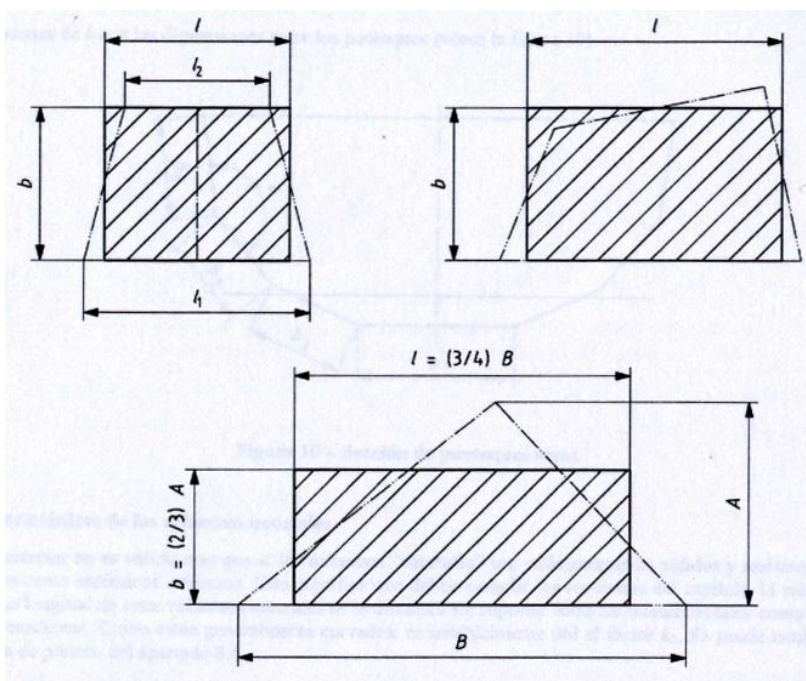
$$A_D = (l \cdot b) \cdot 10^{-6}$$

Però s'ha de complir que:

$$A_D = (l \cdot b) \cdot 10^{-6} \leq 2,5 \cdot b^2 \cdot 10^{-6}$$

En el nostre cas $A_D=0,3$ però no pot ser superior a 0,225 per tant prenem $A_D = 0,225$.

Els panells no rectangulars s'avaluaran amb ajuda de panells rectangulars equivalents amb unes dimensions de $b \cdot l$ o $s \cdot l_u$. La següent figura extreta de la norma ens mostra alguns exemples de panells rectangulars equivalents (ombrejats) per a un trapezi o triangle.



6.2 CÀLCUL DE K_R

Aquest és un factor estructural del element i tipus d'embarcació. Com que es tracta d'un panell de fons en una embarcació a motor en la modalitat de planejadora $k_R = 1$.

6.3 CÀLCULS FINALS I VALORS MÍNIMS DE K_{AR}

Finalment, el factor de reducció de la pressió segons la superfície es igual a

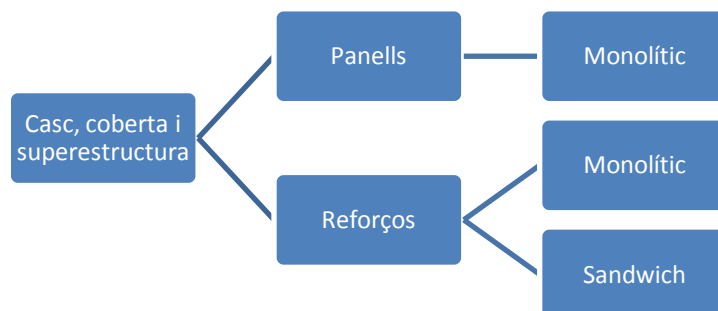
$$k_{AR} = \frac{1 \cdot 0,1 \cdot 8000^{0,15}}{0,225^{0,3}} = 0,602$$

Valors mínims del k_{AR} es calculen amb la següent taula (taula 3). El valor mínim de k_{AR} depèn de la categoria de disseny, la posició del panell i la seva situació.

Categoría de diseño	Paneles de una sola capa y refuerzos de fondo y costados	Paneles tipo sandwich de fondo y costados ^a		
	Paneles de una sola capa o tipo sandwich y refuerzos de cubiertas y superestructuras	$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
A	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones	Interpolación entre los valores $\frac{x}{L_{WL}} = 0,4$ y $0,6$	0,5 fondo de veleros y costado 0,5 fondo embarcaciones a motor 0,4 costado embarcaciones a motor
B	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		0,4 todas las embarcaciones
C y D	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		

^a El valor mínimo de k_{AR} se aplica a los requisitos de resistencia a la flexión o cizalla y con la flecha máxima.

La primera columna es refereix a la categoria de disseny, la segona i la tercera poden produir confusions. La segona columna s'utilitza per als panells de casc, només monolítics, i reforços de casc, coberta i superestructura tipus monolítics o sandwich.



La tercera columna sols es centra en els panells sandwich del casc. Finalment, com que el valor de k_{AR} és superior als valors mínims donats per la taula el nostre valor de $k_{AR}=0,602$.

7. CÀLCUL DE LA PRESSIÓ DE FONTS PER A PLANEJADORES

7.1 PRESSIÓ DE DISSENY EN ELS FONTS PER A LES EMBARCACIONS DE MOTOR EN LA MODALITAT DE PLANEJADORA.

La pressió de disseny en els fons d'una embarcació a motor en la modalitat de planejadora P_{BMP} és el major valor de P_{BMP} o P_{BMPmin} :

$$P_{BMPmin} = 0,45 \cdot m_{LDC}^{0,33} + (0,9 \cdot L_{WL} \cdot k_{DC}) kN/m^2$$

$$P_{BMPmin} = 0,45 \cdot 8000^{0,33} + (0,9 \cdot 9,8 \cdot 1) = 17,554$$

$P_{BMPBASE}$ es la pressió base en els fons de les embarcacions a motor en la modalitat planejadora, en kN/m^2 .

$$P_{BMPBASE} = \frac{0,1 \cdot m_{LDC}}{L_{WL} \cdot B_C} \cdot (1 + k_{DC}^{0,5} \cdot n_{CG}) kN/m^2$$

$$P_{BMPBASE} = \frac{0,1 \cdot 8000}{9,8 \cdot 2,8} \cdot (1 + 1^{0,5} \cdot 3,255) = 124,052 kN/m^2$$

Finalment:

$$P_{BMP} = P_{BMPBASE} \cdot k_{AR} \cdot k_L kN/m^2$$

$$P_{BMP} = 124,052 \cdot 0,602 \cdot 1 = 74,679 kN/m^2.$$

El valor del exponent 0,5 sobre k_{DC} s'introdueix per tenir en compte que, tot i que existeix algun efecte de la categoria de disseny, aquest efecte està atenuat en la modalitat de planejadora. Això rau en el fet que el valor màxim de la pressió en la modalitat planejadora es troba principalment en les condicions que corresponen a la categoria de disseny C, pel que la diferència entre les categories de disseny és una conseqüència menys marcada que en la modalitat de desplaçament.

Pot succeir que un constructor es decanti per l'ús d'aquesta norma per a l'escantillonat d'una embarcació a rem. Aleshores es pot plantejar que el seu cas no s'inclou en la norma. Però no és del tot així. Pot passar que si l'embarcació és l'herència d'un antic bot a vela es podria decantar per un veler, doncs ja ho havia estat. Sinó és el cas es poden usar directament les expressions referides a una embarcació a motor. Aleshores el problema estarà en conèixer quina és la categoria de disseny.

Obviant aquest punt, per a les embarcacions considerades a “motor” de les categories de disseny A i B, la pressió dels costats ha de ser la major entre la modalitat desplaçament i planejadora. En els altres casos, ha de ser la que correspongui. La raó per aquest doble requisit és que amb mar grossa, les embarcacions que normalment planejen amb mar plana han d'avançar a una velocitat més reduïda, de la mateixa forma que ho faria una embarcació de desplaçament.

8. CÀLCUL DE L'ESPESSOR D'UN MONOLÍTIC

Un cop calculades les pressions de disseny, ens hem de plantejar com serà el nostre laminat. Per això, el primer pas serà conèixer quin és el nostre procés constructiu i quin és el nostre mètode per fer-ho. Tenint clar això s'iniciaran els càlculs a partir de la taula C.2 i tenint en compte un nivell d'avaluació EL-c, que ja mencionarem.

Suposem que el monolític està format per capes unidireccionals creuades 0-90° del mateix gramatge cadascuna. Es a dir $w_1 = w_2 = w_3 = \dots w_n$ i a més estan laminades mitjançant bossa de buit. Això suposa:

$$\psi_{mitja} = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n}{\frac{w_1}{\psi_1} + \frac{w_2}{\psi_2} + \frac{w_3}{\psi_3} + \dots + \frac{w_n}{\psi_n}} = \frac{n \cdot w}{n \cdot \frac{w}{\psi}} = \psi$$

Evidentment, és l'anterior un cas molt concret, ja que difícilment un laminat pot contenir una seqüència així. Doncs és normal posar després del Gel-Coat i abans del Top-Coat una capa MAT. Aquesta equació és una mena de rendiment. Això queda palès amb la taula C.2 de la norma. Per exemple si s'utilitzen teixits unidireccionals amb bossa de buit tenim un valor de $\psi = 0,66$. Però si s'utilitza MAT projectat amb el mateix procediment aleshores segons la norma ψ val 0,36. És a dir, en el primer cas hi ha molta fibra i poca resina, però en el segon al contrari, molta resina però poca fibra.

Mitjançant l'expressió següent, calcularem l'espessor mínim de les planxes del casc d'un monolític:

$$t = b \cdot k_C \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}} \text{ (mm)}$$

Els valors de b i de P els coneixem. k_C és el factor de correcció de curvatura pels panells corbs que es dona a la taula 6:

c/b	k_C
0 a 0,03	1,0
0,03 a 0,18	$1,1 - \frac{3,33c}{b}$
> 0,18	0,5

El nostre panell és un panell de fons pla sense curvatura, això significa que $c = 0$ cosa que ens dona un $k_C=1$. El k_2 es un factor d'allargament del panell per resistència a la flexió que es dona a la taula 5.

Càlcul de la curvatura: Les dimensions del panell per regla general venen determinades per la posició dels reforços. Segons la norma, " b " és la dimensió menor del panell en línia recta, és a dir, la corda. " c " aleshores seria la fletxa

màxima entre la corda i el panell. Per fer-ho correctament, o bé es disposa del pla de formes del vaixell amb un correcte desenvolupament dels panells o es domina un programa CAD/CAM.

Alargamiento del panel l/b	Factor k_2 k_2 debe tomarse = 0,5 para un costado de madera laminada	Factor k_3
> 2,0	0,500	0,028
2,0	0,497	0,028
1,9	0,493	0,027
1,8	0,487	0,027
1,7	0,479	0,026
1,6	0,468	0,025
1,5	0,454	0,024
1,4	0,436	0,023
1,3	0,412	0,021
1,2	0,383	0,019
1,1	0,349	0,016
1,0	0,308	0,014
	k_2 puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,308 < k_2 < 0,5$	k_3 puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,014 < k_3 < 0,028$
	$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$	$k_3 = \frac{0,027(l/b)^2 - 0,029(l/b) + 0,011}{(l/b)^2 - 1,463(l/b) + 1,108}$

Per calcular k_2 , o bé s'utilitzen els valors calculats de l'anterior taula o bé s'utilitzen les expressions anteriors.

Com que la relació $l/b = 1000/300 = 3,333 > 2$

llavors $k_2 = 0,5$

Finalment la tensió de disseny es calcula a partir de la taula 7:

Material	Elemento estructural	Tensión de diseño σ_d N/mm ²
FRP de una sola capa	Todos los elementos	$0,5 \sigma_{uf}$

Per calcular la σ_{uf} o resistència mínima a la flexió (tensió de ruptura) s'ha d'anar prèviament a la taula C.2. Per usar correctament aquesta taula cal tenir en compte les següents qüestions:

Nota 1: Per a una combinació Mat-Roving, o bé es coneix la variable R (taula C.2), o bé es calcula la mitja de ψ (com abans s'ha mostrat) y es treballa directament amb la taula C.4.

Nota 2: La taula C.4 analitza les propietats capa a capa d'un laminat monolític o capa a capa de les pells del sàndwich. Però, si el laminat està format en la seva totalitat per U.D, Mat, combinacions Roving-Mat o teixits multidireccionals, es poden usar les expressions donades per posteriorment aplicar els resultats a la equació 35 (espessor de Timoshenko).

Nota 3: Únicament (com es pot veure) el Mat projectat y los reforçats U.D s'analitzen per separat en la taula C.4.

Nota 4: Es consideren teixits multidireccionals les “*doble bias*”, els “*quadriaxials*” i les combinacions d'unidireccionals anomenades “*CP*” formades per capes creuades 0/90° d'unidireccionals.

Nota 5: L'espessor requerit per a un panell de fusta laminada, contraplacat i fusta encolada en tires unides (“*strip Planking*”), FRP i metall excloent tota petita capa de protecció és com sabem:

$$t = b \cdot k_c \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}}$$

Segons la teoria de Timoshenko per a una pressió uniforme la tensió màxima es presenta en el costat menor de la planxa i la equació (que és la mateixa que l'anterior) és:

$$\sigma_d = k_2 \cdot P \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^2$$

k_2 en general, depèn de les condicions de contorn, de la relació d'aspecte l/b , de la posició del punt considerat i del tipus de material.

Aquesta equació és vàlida para tots els panells, estiguin recolzats o no. La curvatura i per tant el moment flector sempre serà major en el costat més curt del panell, representat per la lletra “ b ”.



Aquesta equació ens permetrà, en el cas dels monolítics de fibra de vidre, calcular el gramatge. És a dir, el objectiu de l'anterior equació serà calcular la massa de fibra seca continguda en el laminat. Això ens donarà un espessor (si es sumen les capes que el constructor decideixi) que pot coincidir o no amb el valor de dita equació. Dit gramatge, si s'elegeix pel mètode EL-c, es pot calcular mitjançant algunes equacions del annex C (equacions de la C.1 a la C.6) y la taula C.3 pel cas de la fibra de vidre tipus E.



Table C2 — Nominal fibre content by mass

Type of ply reinforcement	Glass fibre laminate - glass content by mass ψ		
	Open mould		Vacuum bag
	Simple surface	Complex surface	
Chopped strand mat sprayed up	0,30	0,25	(0,38)
Chopped strand mat hand lay up	0,30	0,25	(0,38)
Woven roving	0,48	0,36	0,58
Roving-mat combination ^a	0,46-0,18 R	0,35-0,11 R	0,56-0,22 R
Multidirectional fabric	0,50	0,38	0,60
Unidirectional fabric	0,55	0,41	0,66
Non-glass fibres (suitable for glass content by mass greater than 0,4, i.e. not CSM)			
For carbon fibre			
The fibre content by mass ψ which gives the same fibre content by volume as the values above for glass may be estimated using:			
$\psi_{\text{carbon}} = 0,99 \psi_{\text{glass}}$ from table above – 0,08 (see example C.3.3)			
For aramid fibre			
The fibre content by mass which gives the same fibre content by volume as the values above for glass may be estimated using:			
$\psi_{\text{aramid}} = 0,95 \psi_{\text{glass}}$ from table above – 0,11			
^a R= total mass of Mat (kg/m ²) / total mass of glass in laminate (Mat & Woven Roving) (kg/m ²)			

Per a una millor comprensió el codi de colors significa quin tipus de material i laminat de la taula C.2 correspon amb la C.4.

EXEMPLES DE TIPUS DE MATERIALS USATS EN LA TAULA C.2 ELS TEIXITS ROVING

 <p>Roving unidireccional</p>	<p>El Roving unidireccional (UD) és un tipus de teixit en el que predomina una direcció sobre l'altra des del punt de vista de les seves propietats mecàniques.</p>
 <p>Woven Roving</p>	<p>El Roving bidireccional com per exemple el Woven Roving 600/800, és un teixit fet de filaments continus col·locats en forma vertical i horitzontal, sense amarres. Els teixits bidireccionals proporcionen bona resistència en les dues direccions de 0 y 90. Són utilitzats per a fabricar laminats gruixuts, especialment en operacions de laminat manual.</p>

ELS TEIXIS MAT Ó CSM	
 <p>MAT ó CSM</p>	<p>MAT ó CSM: Teixit compost per fils de 4 ó 5 centímetres units aleatòriament per un aglomerant. En anglès es denomina CSM ó Chopped Strand Mat. Segons la norma ISO 12215, aquest teixit es denomina Chopped Strand Mat Lay Up. És a dir, cada tela es situa en la seva posició de forma manual.</p>
 <p>Sprayed Chopped Strand Mat sprayed up (MAT Projectado)</p>	<p>És el que es coneix per MAT projectat. En la taula C.4 dedicada a les propietats de la fibra de vidre tipus E, hi ha una part dedicada a les seves característiques mecàniques.</p>
ALTRES COMBINACIONS	
<p>Crossplied (CP) – 0/90 reinforcement (Capes creuades 0/90° de reforç)</p>	<p>Són panells o pells del sandwich formades per capes alternades de Roving unidireccional a 0-90°. És a dir, perpendiculars entre elles.</p>

Suposem que ens decidim per un monolític de fibra de vidre tipus E, de teixits UD en C.P (Crossplied) i el procés de laminat és amb bossa de buit per tant $\psi=0,60$. Un cop tenim aquest valor hem d'anar a la taula C.4.

Table C 3a — E-glass fibre mechanical properties

Property	Values, N/mm ²	
Hand laminated Chopped strand mat (CSM), Combined mat/woven roving, Woven Roving (WR) and Crossplied (CP) – 0/90 reinforcement ^{a)}		
Ultimate tensile strength, σ_{ut}	$800 \psi^2 - 80 \psi + 37$	
Ultimate compressive strength, σ_{uc}	$150 \psi + 72$	
Inplane modulus, E	$38000 \psi - 5000$	
Ultimate flexural strength, σ_{uf}	$502 \psi^2 + 107$	
Flexural modulus, E_f	$33400 \psi^2 + 2200$	
Ultimate inplane shear strength, τ_u	$80 \psi + 38$	
Inplane shear modulus G	$1700 \psi + 2240$	
Sprayed Chopped Strand Mat		
Ultimate tensile strength, σ_{ut}	$150 \psi + 25$	
Tensile modulus, E_t	$15000 \psi + 2000$	
Ultimate flexural strength, σ_{uf}	$300 \psi^2 + 107$	
Other properties for sprayed CSM shall be obtained from the CSM equations above		
Uni-directional (UD) reinforcement		
Property	Parallel to the fibres	Perpendicular to the fibres
Inplane modulus, E_t	$46600 \psi^2 + 7200 \psi + 7250$	$48600 \psi^2 - 39000 \psi + 12500$
Ultimate tensile strength, σ_{ut}	$880 \psi^2 + 140 \cdot \psi + 140$	42 MPa
Ultimate compressive strength, σ_{uc}	$250 \cdot \psi + 190$	105 MPa
Inplane shear modulus, G	$14380 \psi^2 - 10560 \psi + 3840$	
Inplane shear strength, τ_u	50 MPa	
Major Poisson's ratio	0,3	
a) For combined mat and woven roving, ψ may be the overall value. See Example C.3.2.		

Segons aquesta taula la resistència de ruptura per flexió és:

$$\sigma_{uf} = 502 \cdot \psi^2 + 107 = 502 \cdot 0,60^2 + 107 = 287,720 \text{ kN/m}^2$$

Segons la taula C.1 com que ens hem decidit per un nivell d'avaluació de les propietats mecàniques EL-c hem de multiplicar l'anterior valor per 0,8.

$$0,8 \cdot \sigma_{uf} = 0,8 \cdot 287,720 = 230,176 \text{ kN/m}^2$$

Finalment segons la taula 7 (anterior) la tensió de disseny serà igual a:

$$\sigma_d = 0,5 \cdot \sigma_{uf} = 0,5 \cdot 230,176 = 115,088 \text{ kN/m}^2$$

Nivel de evaluación	Definición	Método
EL-a	Las propiedades mecánicas y el contenido de fibra se determinan por mediciones efectuadas con la ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado.	Utilizar los resultados de las mediciones corregidas según el apartado C.1.1.
EL-b	El contenido de fibra en masa se determina por mediciones. Se efectúan verificaciones puntuales con ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado para garantizar que el producto cumple o excede los valores de las tablas C.4 a la C.7.	Valores por defecto (tablas C.4 a la C.7)
EL-c	No se hacen mediciones explícitas ni del contenido de fibra ni de las propiedades mecánicas. El contenido de fibra se deduce de la tabla C.2 o de otros valores nominales.	Multiplicar los valores por defecto (tablas C.4 a la C.7) por 0,8.

Finalment l'espessor mínim del panell de fons monolític és igual a:

$$t = 300 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{74,679 \cdot 0,5}{1000 \cdot 115,088}} = 5,404 \text{ mm.}$$

Finalment els valors calculats de t/w en funció del contingut de fibra en massa ψ s'extreuen de la taula C.3.

ψ	0,25	0,30	0,36	0,38	0,41	0,50	0,55	0,58	0,60	0,66
t/w^a	2,89	2,34	1,87	1,75	1,59	1,22	1,07	0,99	0,95	0,82
^a Relación entre el espesor, en milímetros, y la masa de fibra seca, en kilogramos por metro cuadrado.										

Si no es vol usar aquesta taula es pot utilitzar l'expressió C.1 .

$$\frac{t}{w} = \frac{1}{3,072} \left(\frac{2,56}{\psi} - 1,36 \right)$$

com que $\psi = 0,60$ i $t = 5,404 \text{ mm}$ tenim que $t/w = 0,95$.

La massa de fibra seca en kg/m^2 : $w = 5,404/0,95 = 5,711 \text{ kg/m}^2$

9. Càlcul de l'espessor del mateix panell però de tipus sandwich

Totes les característiques de la embarcació es mantenen idèntiques, però en comptes de ser un laminat monolític estudiarem el cas d'un laminat tipus sandwich simètric. Es considera que el laminat és un multidireccional format per capes d'UD d'idèntic espessor. Per al nucli suposem que el constructor es decanta per un material conservador del tipus PVC rígid i d'una densitat de $\rho_c=75\text{kg/m}^3$.

9.1. VALORS MÍNIMS DEL MÒDUL D'INÈRCIA I DEL SEGON MOMENT

9.1.1. El mòdul d'inèrcia mínim al voltant de la fibra neutra d'una tira de panell tipus sandwich, no ha de ser inferior als valors donats per les següents equacions:

$$SM_0 = \frac{b^2 \cdot k_c^2 \cdot P \cdot k_2}{6 \cdot 10^5 \cdot \sigma_{dto}} \quad \text{capa exterior} \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}}$$

Sabem que $b = 300\text{mm}$, $k_c=1$, $P = 74,679 \text{ kN/m}^2$, $k_2=0,5$ i ara calcularem σ_{dto} que és la tensió de disseny en tracció sobre la capa exterior que segons la taula 10, és $0,5 \cdot \sigma_{ut}$

Material	Elemento estructural	Fatiga de diseño σ_{dt} o σ_{dc} N/mm ²
FRP tipo sandwich	Casco, cubierta, superestructuras, mamparos estructurales y estancos, y tanques estructurales	En capas exteriores $0,5 \sigma_{ut}$ En capas interiores $0,5 \sigma_{uc}$; $0,3\sqrt[3]{E_c \times E_{co} \times G_c}$ ^a
^a Véanse el apartado 10.5.3 y la ecuación (41).		

Els valors per calcular aquesta tensió es basen en la taula C.2 i C.4 com abans per la fibra de vidre, en canvi pel material del nucli ens basarem en la taula D.2. Suposem que com a constructors elegim teixits unidireccionals per bossa de buit, és a dir, $\psi=0,60$.

$$\sigma_{ut}=800 \cdot \psi^2 - 80 \cdot \psi + 37 = 800 \cdot 0,60^2 - 80 \cdot 0,60 + 37 = 277 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dto}=0,5 \sigma_{ut}=138,5 \text{ kN/m}^2$$

$$SM_0 = \frac{300^2 \cdot 1^2 \cdot 74,679 \cdot 0,5}{6 \cdot 10^5 \cdot 138,5 \cdot 0,8} = 0,051$$

9.1.2. Mòdul requerit per a la capa interior d'un panell sandwich

El mòdul requerit per la capa interior d'una tira d'un panell tipus sandwich d'un centímetre de banda és igual a:

$$SM_i = \frac{b^2 \cdot k_c^2 \cdot P \cdot k_2}{6 \cdot 10^5 \cdot \sigma_{dci}} \quad \text{capa interior} \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}}$$

A on σ_{dci} és la tensió de disseny de compressió sobre la capa interior que serà el menor valor de $0,5 \cdot \sigma_{uc}$ ó $0,3 \cdot \sqrt{E_C \cdot E_{CO} \cdot G_C}$.

E_C és el mòdul de compressió segons la direcció 0°-90° de la capa interior en el pla del panell. E_{CO} és el mòdul de compressió del nucli en la direcció perpendicular a les capes i G_C és el mòdul de cisalla del nucli en la direcció paral·lela a la carrega. Segons la taula C.4 el mòdul de resistència de ruptura per compressió :

$$\sigma_{uc} = 150 \cdot \psi + 72 = 150 \cdot 0,60 + 72 = 162 \text{ N/mm}^2$$

Aleshores:

$$0,5 \cdot \sigma_{uc} = 0,5 \cdot 162 = 81,0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_C = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,60 - 5000 = 17800 \text{ N/mm}^2$$

E_{CO} es troba a l'annex D i depèn de les densitats del nucli. Com que el nostre nucli té una densitat $\rho_C = 75 \text{ kg/m}^3$ aleshores $E_{CO} = 59 \text{ N/mm}^2$ i finalment G_C també es troba al mateix annex D i depèn de la densitat del nucli $G_C = 22 \text{ N/mm}^2$

Madera de balsa de los extremos					PVC rígido I					PVC rígido II				
ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	α_{uc}	E_{co}	ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	α_{uc}	E_{co}	ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	α_{uc}	E_{co}
N/mm ²					N/mm ²					N/mm ²				
90	1,26	77	4,2	1 413	50	0,44	14	0,47	33	33	0,27	10,2	0,14	22
100	1,44	85	5,2	1 720	75	0,76	22	0,86	59	43	0,44	13,5	0,39	34
120	1,80	103	7,2	2 334	100	1,12	31	1,32	90	54	0,63	17,1	0,66	47
150	2,33	129	10,3	3 255	130	1,59	41	1,95	132	72	0,93	23,1	1,11	68
180	2,86	155	13,4	4 176	150	1,92	48	2,41	162	90	1,24	29,0	1,56	90
200	3,22	172	15,4	4 790	200	2,82	67	3,70	246	120	1,75	38,9	2,31	126
220	3,58	190	17,4	5 404	250	3,79	87	5,15	339	145	2,18	47,2	2,94	156
221	3,59	190	17,5	5 435	250	3,79	87	5,15	339	180	2,77	58,7	3,81	198
PVC lineal					SAN									
ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	α_{uc}	E_{co}	ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	α_{uc}	E_{co}					
N/mm ²					N/mm ²									
60	0,51	12	0,48	31	60	0,34	8	0,45	31					
70	0,65	15	0,60	40	70	0,48	12	0,58	41					
80	0,79	18	0,72	48	80	0,62	17	0,71	51					
100	1,07	24	0,96	65	100	0,89	26	1,01	76					
140	1,63	35	1,44	99	130	1,26	40	1,54	120					
					150	1,49	49	1,93	154					
					200	1,99	72	3,05	255					

$$0,3 \cdot \sqrt[3]{E_C \cdot E_{CO} \cdot G_C} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{17800 \cdot 59 \cdot 22} = 85,445 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Com que } 0,5 \cdot \sigma_{uc} = 0,5 \cdot 162 = 81 \text{ N/mm}^2$$

Ens quedem amb el valor menor, és a dir $81,0 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{dci} = 81 \cdot 0,8 = 64,8 \text{ N/mm}^2$$

Finalment el mòdul mínim requerit per a la capa interior serà:

$$SM_i = \frac{300^2 \cdot 1^2 \cdot 74,679 \cdot 0,5}{6 \cdot 10^5 \cdot 64,8} = 0,086$$

El segon moment mínim d'inèrcia requerit per una tira d'un panell tipus sandwich és:

$$I = \frac{b^3 \cdot k_C^3 \cdot P \cdot k_3}{12 \cdot 10^6 \cdot k_1 \cdot E_{io}}$$

On:

$k_1=0,017$ Factor de deformació per un panell tipus sandwich.

k_3 es calcula segons la taula 5 i és igual a $0,028$ (doncs $l/b = 3,333 > 2$)

E_{io} és el valor mig dels mòduls d'elasticitat de les capes exteriors i interiors que es troba a l'annex C. S'aconsella aquesta aproximació quan les capes interiors i exteriors no difereixen en més d'un 25%. Com que els materials de la capa interior i exterior són iguals el mòdul d'elasticitat serà el mateix per tant:

$$E_{io} = E_C = (38000 \cdot \psi) - 5000 = 38000 \cdot 0,60 - 5000 = 17800$$

Com que ambdós parts del sandwich són iguals amb el mateix espessor per capa, no cal fer mitja. És a dir, si no fos així caldria calcular la mitja de la part exterior e interior per finalment fer la mitja aritmètica dels anteriors resultats. La mitja de cada part es calcularia amb:

$$E_{mig} = \frac{\sum t_i \cdot E_i}{\sum t_i}$$

Finalment el mòdul d'inèrcia és:

$$I = \frac{300^3 \cdot 1^3 \cdot 74,679 \cdot 0,028}{12 \cdot 10^6 \cdot 0,017 \cdot 17800} = 0,016$$

Nota 1: Les anteriors equacions de SM_o i SM_i deriven del fet que per a un panell encastat en els seus extrems, és el moment flector màxim en els extrems el que governa y la capa exterior és la que treballa a tracció.

9.1.3. Espessor requerit per a suportar el esforç de cisalla

Amb el fi de transmetre el esforç de cisalla, l'espessor efectiu del laminat tipus sandwich, t_s ha de complir la següent equació:

$$t_s \geq \sqrt{k_C} \cdot \frac{k_{SCH} \cdot P \cdot b}{1000 \cdot \tau_d}$$

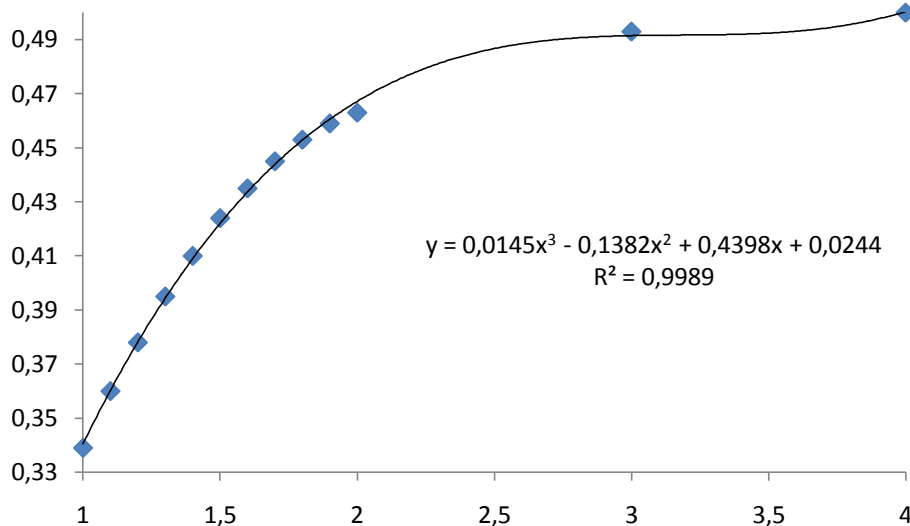
P , b , k_C són valors que coneixem. K_{SCH} és un valor que s'extreu de la taula 12 o de l'expressió següent:

$$k_{SCH} = 0,035 + 0,394 \cdot \left(\frac{l}{b}\right) - 0,09 \cdot \left(\frac{l}{b}\right)^2 \text{ per } a \frac{l}{b} < 2$$

Com que la relació $l/b = 3,333$ és superior a 2 aleshores fent una interpolació trobem que el nostre k_{SCH} és igual a 0,495.

l/b	> 4,0	3,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
k_{SCH}^a	0,500	0,493	0,463	0,459	0,453	0,445	0,435	0,424	0,410	0,395	0,378	0,360	0,339
^a Los valores de k_{SCH} se pueden calcular mediante la ecuación $k_{SCH} = 0,035 + 0,394 \times \left(\frac{l}{b}\right) - 0,09 \times \left(\frac{l}{b}\right)^2$ para $l/b < 2$.													

El problema de l'equació donada per la norma és que només té en compte els valors corresponents a $l/b < 2$. Per tant, nosaltres hem calculat una regressió que s'aproximi als anteriors valors amb la idea d'una fàcil programació o si menys no, eliminar qualsevol interpolació.



Per tant finalment, fent una regressió polinòmica d'ordre 3, amb $R = 0.998$, obtenim:

$$k_{SCH} = 0,0145 \cdot \left(\frac{l}{b}\right)^3 - 0,1382 \cdot \left(\frac{l}{b}\right)^2 + 0,4398 \cdot \left(\frac{l}{b}\right) + 0,0244$$

Però l'anterior equació està acotada entre els valors $4 \leq l/b \leq 1.0$. Per a l/b amb valors superiors a 4, aleshores $k_{SCH} = 0,5$. Evidentment, el valor mínim de l/b és 1.

Finalment, τ_d és la tensió de cisalla de disseny del nucli d'acord amb la taula 11.

Material	Tensión de cizalla de diseño τ_d (N/mm ²)
Madera de balsa de los extremos	0,5 τ_u ^a
Núcleo teniendo un alargamiento a la rotura por cizalla < 35% (reticulado de PVC, etc.)	0,55 τ_u
Núcleo teniendo un alargamiento a la rotura por cizalla > 35% (PVC lineal, SAN, etc.)	0,65 τ_u
Núcleo en nido de abeja (que debe ser compatible con una utilización marina)	0,5 τ_u ^b

^a Si la balsa presenta un grado pequeño de variabilidad de sus propiedades mecánicas y se toman medidas para encapsular el núcleo mediante resina, se puede tomar τ_u igual a 0,55 τ_u .

^b Utilizar las propiedades del núcleo en la dirección menor del panel (b).

Com que el nostre PVC és un PVC reticulat és a dir PVC rígid tipus 1. La tensió de cisalla de disseny és igual a $0,55 \cdot \tau_u$, aquesta τ_u s'extreu de la taula D.1 que per la nostra densitat és de 75, això ens dona $\tau_u=0,76$ per tant la tensió de disseny τ_d és igual a $0,55 \cdot 0,76=0,418$.

$$t_s \geq \sqrt{1} \cdot \frac{0,495 \cdot 74,679 \cdot 300}{1000 \cdot 0,418} = 26,531 \text{ mm.}$$

Com que el nostre sàndwich és simètric i si recordem el $SM_0=0,042$ el $SM_i=0,082$, el moment d'inèrcia = 0,014 i t_s ha de ser com a mínim igual a 26,531 mm. Tots aquests valors són mínims per tant com que el sàndwich és simètric,

el valor màxim del mòdul (mínim) d'ambdós capes és el major, és a dir, de 0,082. El procés que se segueix és el que compleixi, totes les característiques tant de mòdul mínim com de moment d'inèrcia mínim, com d'espessor mínim.

SM_{min}	Espessor de cada capa	Espessor del nucli	Moment d'inèrcia	t_s	Compleix?
0,082	1	12	0,12	13	No
1,45	6	16	0,96	22	NO
2,55	7	20	1,40	27	SI

Resumint, com es pot comprovar en l'anterior taula només fins a un SM_{min} de 2,55 no es compleixen tots els requisits.

Per fer aquesta taula ens hem basat en les taules D.3 i D.4 que només valen per a sàndwichs simètrics.

Espesor del núcleo (mm)	Espesor de cada capa (mm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
12	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60			
16	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96		
20	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60
24	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92
28	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40	1,68	1,96	2,24
32	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,92	2,24	2,56
36	0,36	0,72	1,08	1,44	1,80	2,16	2,52	2,88
40	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20

Espesor del núcleo (mm)	Espesor de cada capa (mm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
12	0,08	0,20	0,34	0,51	0,72			
16	0,14	0,32	0,54	0,80	1,10	1,45		
20	0,22	0,48	0,79	1,15	1,56	2,03	2,55	3,14
24	0,31	0,68	1,09	1,57	2,10	2,70	3,36	4,10
28	0,42	0,90	1,44	2,05	2,72	3,47	4,29	5,18
32	0,54	1,16	1,84	2,59	3,42	4,33	5,32	6,40
36	0,68	1,44	2,28	3,20	4,20	5,29	6,47	7,74
40	0,84	1,76	2,77	3,87	5,06	6,35	7,73	9,22

9.1.4. Requisits de massa mínima de fibra dels panells tipus sandwich

Per a reduir el risc de perforació o dany de la capa exterior, la massa mínima requerida de fibra en kilograms per metre quadrat ve donada per:

$$w_{os} = k_{DC} \times k_4 \times k_5 \times k_6 \times (0,1 \cdot L_{WL} + 0,15) \text{ kg/m}^2.$$

$$w_{is} = 0,7 \cdot w_{os} \text{ kg/m}^2.$$

Això en definitiva és igual a:

$$w_{os} = k_{DC} \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot (0,1 \cdot L_{WL} + 0,15) = 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot (0,1 \cdot 0,8 + 0,15) = 1,017 \text{ kg/m}^2$$

$$w_{is} = 0,7 \cdot 1,017 = 0,712 \text{ kg/m}^2$$

Els diferents coeficients s'extreuen de:

w_{os} is the fibre mass per m^2 of the outer skin, (kg/m²)

w_{is} is the fibre mass per m^2 of the inner skin, (kg/m²)

k_4 is the sandwich minimum skin location factor, where

- $k_4 = 1,0$ for bottom shell (all craft type) and side shell forward of $0,6 \cdot L_{WL}$ of sailing yachts
- $k_4 = 0,9$ for side shell of motor craft full range, aft of $0,6 \cdot L_{WL}$ of sailing yachts
- $k_4 = 0,8$ for deck (all craft type)

k_5 = sandwich minimum skin fibre type factor, where:

- $k_5 = 1,0$ for E-glass reinforcement containing up to 50% of chopped strand mat by mass
- $k_5 = 0,9$ for continuous glass reinforcement (i.e. bi-axials, woven roving, uni-directionals)
- $k_5 = 0,7$ for continuous reinforcement using aramid or carbon or hybrids there of

k_6 = sandwich minimum skin care factor, where:

- $k_6 = 0,9$ for design category C and D sports boats used with care and frequently inspected
- $k_6 = 1$ for other craft

10. REFORÇOS

En general, els panells han d'estar suportats per elements de reforç. Aquesta solució constructiva al llarg de la història no sempre ha estat així. La rigidesa relativa dels elements de reforç principals i secundaris ha de ser tal que les càrregues es transmetin efectivament del secundari al principal, i d'allà al casc i als mampars.

Suposem que el nostre reforç està fet de materials semblants, és a dir, que les seves propietats mecàniques difereixen en menys d'un 25%.

En aquest apartat es treballarà amb dos variables principals que són la " l_u " i " s ". La " l_u " és la llum entre suports d'un reforç o quaderna. " s " és la separació entre reforços o quadernes. Si els reforços no són simètrics, " s " és la distància entre els punts mitjos de les ànimes dels reforços. " l_u " no pot prendre un valor superior a $330 \cdot L_H$.

10.1. Càlcul de la pressió de disseny per a un reforç

Suposem un reforç longitudinal de barret de copa aplatat situat a $x = 7.5$ m, d'una $s = 300$ mm i una $l_u = 1000$ mm.

Els valors que no varien són el $k_{DC} = 1$ per a la categoria de disseny A, el $n_{CG} = 3,255$. Com que $x/L_{WL} = 0,765 > 0,6$ aleshores $k_L = 1$. Finalment el factor de reducció de la pressió k_{AR} variarà. El factor estructural d'element i tipus d'embarcació, és igual a $k_R = 1$.

Comprovem l'àrea de disseny: $A_D = (l_u \times s) \cdot 10^{-6} = 0,3$ però no pot ser inferior a $0,33 \cdot l_u^2 \cdot 10^{-6} = 0,33$. Per lo que $A_D = 0,33$. Nota: la norma en versió castellana està mal traduïda en aquest punt, mirar la versió anglesa. En comptes de "menor" ho tradueix per "no se debe tomar mayor de."

Finalment el factor de reducció de la pressió segons la superfície és igual a: $k_{AR} = 0,537$.

La pressió de disseny en els reforços de fons d'una embarcació a motor en la modalitat de planejadora P_{BMP} és el major valor de P_{BMP} o P_{BMPmin} :

$$P_{BMPmin} = 0,45 \cdot m_{LDC}^{0,33} + (0,9 \cdot L_{WL} \cdot k_{DC}) \text{ kN/m}^2$$

$$P_{BMPmin} = 0,45 \cdot 8000^{0,33} + (0,9 \cdot 9,8 \cdot 1) = 17,554 \text{ kN/m}^2$$

$P_{BMPBASE}$ és la pressió base en els fons de les embarcacions a motor en la modalitat planejadora, en kN/m^2 .

$$P_{BMPBASE} = \frac{0,1 \cdot m_{LDC}}{L_{WL} \cdot B_C} \cdot (1 + k_{DC}^{0,5} \cdot n_{CG}) \text{ kN/m}^2$$

$$P_{BMPBASE} = \frac{0,1 \cdot 8000}{9,8 \cdot 2,8} \cdot (1 + 1^{0,5} \cdot 3,255) = 124,052 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Finalment:

$$P_{BMP} = P_{BMPBASE} \cdot k_{AR} \cdot k_L \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{BMP}=124,052 \cdot 0,537 \cdot 1 = 66,616 \text{ kN/m}^2.$$

10.2. FACTORS D'AJUST DE LES PROPIETATS DELS REFORÇOS

10.2.2. Factor d'ajust per curvatura dels reforços.

El factor d'ajust per curvatura k_{SC} s'ha de prendre de la taula 16 de la norma. Aquest factor depèn de c_u i l_u i s'aplica tant als reforços convexos com còncaus. Ambdós es calculen de la mateixa manera que ho fem amb un panell, amb tota la seva problemàtica. c_u és el bombament o fletxa i l_u és la llum. El seu valor ha d'estar entre els 0,5 i 1.

c_u/l_u	k_{SC}
0 a 0,03	1
0,03 a 0,18	$1,1-3,33 \cdot (c_u/l_u)$
> 0,18	0,5

Com que el nostre bombament és nul, $c_u = 0$, aleshores $k_{SC} = 1$.

10.2.3. Factor de superfície de cisalla d'un reforç.

El factor de superfície de cisalla d'un reforç k_{SA} ha de prendre de la relació de la taula 17.

Disposició del reforç	k_{SA}
Unit al casc	5
Altres disposicions (flotant)	7,5

Com que el nostre reforç està unit al casc aleshores $k_{SA} = 5$.

10.2.4. Per a tots els materials: superfície de cisalla i mòdul d'inèrcia mínim.

La superfície de l'ànima A_w (àrea de la secció transversal del reforç) i el mòdul d'inèrcia mínim SM del reforç, incloent el panell del casc associat efectiu no han de ser inferiors als valors següents:

$$A_w = \frac{k_{SA} \cdot P \cdot s \cdot l_u}{\tau_d} \cdot 10^{-6}$$

Per reforços amb barret de copa, aquesta àrea és la suma de totes les superfícies.

$$SM = \frac{83,33 \cdot k_{CS} \cdot P \cdot s \cdot l_u^2}{\sigma_d} \cdot 10^{-9}$$

La tensió de disseny de cisallament i de compressió es calculen amb la taula 18 de la norma.

Material	σ_d	τ_d
Laminat FRP	$0,5 \cdot \sigma_{ut}$ i $0,5 \cdot \sigma_{uc}$	$0,5 \cdot \tau_u$

S'utilitza σ_c quan es considera que la tensió és per compressió (normalment l'ala superior del reforç) i σ_t quan es considera que la tensió és per tracció (normalment als panells del costat). Calen realitzar verificacions.

Per tant, en el nostre cas per a un multidireccional format per capes UD, anem al annex C de la norma i trobem que:

$$\begin{aligned}\sigma_{ut} &= 800 \cdot \psi^2 - 80 \cdot \psi + 37 = 800 \cdot 0,6^2 - 80 \cdot 0,6 + 37 = 277 \text{ kN/mm}^2 \\ \sigma_{uc} &= 150 \cdot \psi + 72 = 150 \cdot 0,6 + 72 = 162 \text{ kN/mm}^2\end{aligned}$$

Com que inicialment no sabem si treballa a tracció o a compressió agafarem el valor que ens doni un SM més elevat.

$$\begin{aligned}SM &= \frac{83,33 \cdot k_{CS} \cdot P \cdot s \cdot l_u^2}{\sigma_d} \cdot 10^{-9} = \frac{83,33 \cdot 1 \cdot 66,616 \cdot 300 \cdot 1000^2}{0,5 \cdot 162} \cdot 10^{-9} \\ &= 20,559 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

En el cas del A_w :

$$\tau_u = 80 \cdot \psi + 38 = 80 \cdot 0,6 + 38 = 86 \text{ kN/mm}^2$$

$$A_w = \frac{k_{SA} \cdot P \cdot s \cdot l_u}{\tau_d} \cdot 10^{-6} = \frac{5 \cdot 66,616 \cdot 300 \cdot 1000}{0,5 \cdot 86} \cdot 10^{-6} = 2,324 \text{ cm}^2$$

10.2.5. Requisits suplementaris de rigidesa pels laminats de FRP

Pels laminats de FRP, el segon moment d'àrea, incloent el panell efectiu associat, no ha de ser inferior al valor donat per la següent expressió:

$$I = \frac{26 \cdot k_{CS}^{1,5} \cdot P \cdot s \cdot l_u^3}{k_{1S} \cdot E_{tc}} \cdot 10^{-11} = \frac{520 \cdot k_{CS}^{1,5} \cdot P \cdot s \cdot l_u^3}{E_{tc}} \cdot 10^{-11}$$

$K_{1S} = 0,05$ és el factor de deflexió (fletxa) pels reforços, màxim permisible. E_{tc} és la mitja dels mòduls d'elasticitat en tracció-compressió del material (annex C), en N/mm^2 . La mitja es calcula com ja sabem:

$$E_{mig} = \frac{\sum t_i \cdot E_i}{\sum t_i}$$

En el nostre cas:

$$E_{tc} = 38000 \cdot 0,6 - 5000 = 17800 \text{ kN/mm}^2$$

$$I = \frac{520 \cdot k_{CS}^{1,5} \cdot P \cdot s \cdot l_u^3}{E_{tc}} \cdot 10^{-11} = \frac{520 \cdot 1^{1,5} \cdot 66,616 \cdot 300 \cdot 1000^3}{17800} \cdot 10^{-11} \\ = 5,838 \text{ cm}^4$$

10.2.6. Propietats geomètriques dels reforços

En les taules de la G.1 a la G.3 es donen les propietats geomètriques per a tres disposicions típiques de “barrets de copa”, “aplatats”, “quadrats” i “alts”.

11. ANÀLISI CAPA A CAPA DEL CONJUNT DEL LAMINAT SEGONS L'ANNEX H

11.1. L'ANNEX "H"

L'annex H s'aplica per panells tipus sàndwich o monolítics i reforços. Els panells es suposen encastats en tot el seu perímetre. En qualsevol cas, es limita a conjunts laminats compostos principalment per capes orientades 0/90° amb respecte als cantons del panell i sensiblement simètrics amb respecte al pla mig.

11.2. OBJECTIU DEL ANNEX H

L'objectiu de l'annex H és calcular el factor d'acceptació C_F . El factor d'acceptació de cada capa és la relació entre la tensió de disseny (taula C.4) i la tensió calculada sota la pressió de disseny. Un factor d'acceptació superior a la unitat significarà que l'estructura és més resistent del necessari i si és inferior significa que l'estructura és insuficientment resistent. Per tant, tant en el cas de σ com el de τ , els factors d'acceptació han de ser de com a mínim d'1.

11.3. CASOS D'ESTUDI

L'annex H s'aplica en dos possibles casos, en els que els càlculs són quasi idèntics.

- Si $l/b \geq 2$, aleshores s'analitza el panell en la direcció del costat menor b .
- Si $l/b < 2$ s'analitzarà el panell en ambdós direccions (panells ortotròpics). Es considera que estem davant d'un panell bidireccional.

Els càlculs a realitzar en un panell ortotròpic són idèntics als que es realitzen sols en la direcció b . Però el moment flector de disseny en la direcció l i b , variarà segons la taula H.3. A més s'haurà de comprovar que la fletxa màxima sigui menor que k_1 . Finalment C_F s'haurà de complir per a cada capa y en ambdós direccions.

11.4. ESFORÇ DE CISALLA I MOMENT FLECTOR SOBRE UN PANELL.

Generalment no és necessari conèixer l'esforç de cisallament ni el moment flector d'un panell, doncs aquests s'inclouen en els requisits d'espessor de diversos apartats.

En cas de materials no homogenis o no isòtrops l'esforç de cisalla i el moment flector es calculen segons les següents equacions:

L'esforç de cisallament en la meitat de la dimensió menor "b":

$$F_d = k_c^{0,5} \cdot k_{SCH} \cdot P \cdot b \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}$$

Moment flector en la direcció “b”:

$$M_d = 83,33 \cdot k_c^2 \cdot 2 \cdot k_2 \cdot P \cdot b^2 \cdot 10^{-6} \text{ N/mm/mm}$$

Finalment:

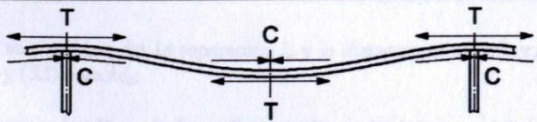
$$F_d = \sqrt{1} \cdot 0,5 \cdot 26 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 5,200 \text{ N/mm}$$

$$M_d = 83,33 \cdot 1^2 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 26 \cdot 400^2 \cdot 10^{-6} = 346,653 \text{ N/mm/mm}$$

11.5. ANÀLISIS CAPA A CAPA D'UN LAMINAT. TAULA H.2.

Un cop coneixem les pressions de disseny, la dimensió menor del panell b , l'esforç de cisallament i el moment flector de disseny, passarem a analitzar cada columna de la taula H.2. En el cas que s'analitza, $P = 26,0 \text{ kN/m}^2$, $b = 400 \text{ mm}$, $F_d = 5,2 \text{ N/mm}$, $M_d = 347 \text{ Nmm/mm}$

Tabla H.2 – Análisis capa por capa de un laminado

Presión de diseño P kN/m ²	Dimensión menor del panel b mm	Esfuerzo cortante de diseño F_d /mm N/mm	Modelo flector de diseño M_t M_d Nmm/mm							
26,0	400	5,2	347							
Cálculo para una banda de laminado de 1 mm de anchura										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Capa Nº	Definición	Fibra			Módulo E_i N/mm ²	α/c_u N/mm ²	Interlaminar τ_0 interlam N/mm ²	σ_{cd}/σ_{cu} τ_0/τ_i *	σ_{cd} N/mm ²	τ_0 N/mm ²
		Peso seco kg/m ²	Tipo *	Contenido ψ						
		Input	G, C, A	C.1	Tabla C.5			Tabla 7	$= (7)-(9)$	$= (8)-(9)$
1 exterior	Mat 300	0,300	G	0,30	6 400	85	17	0,5	42,5	8,6
2	Mat 300	0,300	G	0,30	6 400	85	17	0,5	42,5	8,6
3	Rov 500	0,500	G	0,48	13 240	183	14	0,5	91,5	7,1
4	Mat 450	0,450	G	0,30	6 400	85	17	0,5	42,5	8,6
5	Rov 800	0,800	G	0,48	13 240	144	14	0,5	111,3	7,1
6	Mat 450	0,450	G	0,30	6 400	117	17	0,5	76,1	8,6
7	Rov 800	0,800	G	0,48	13 240	144	14	0,5	111,3	7,1
Total		3,600		0,384	9 387					
		Suma colum.		Media	Media					
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Capa Nº	Espesor t_i mm	$E_i \times t_i$ N/mm	Dist. z_{gi} del exterior mm	$E_i \times t_i \times z_{gi}$ N	$E_i \times t_i \times z_{gi}^2$ Nmm	$E_i \times t_i \times z_{gi}^3$ Nmm	$(EI)_i$ desde la base Nmm ²	z_{crit} desde z_{NA} mm	SM_i mm ³ /mm	σ N/mm ²
	Ecuaciones C.1 a C.3	$= (6)-(12)$	Calc	$= (13)-(14)$	$= (14)-(15)$	$= (13)-(12)^3/12$	$= (17) + (18)$	Calc	Calc	Calc
1 exterior	0,701	4 483	0,35	1 570	550	183,3	733	-3,38	8,47	40,9
2	0,701	4 483	1,05	4 711	4 950	183,3	5 134	-2,68	10,69	32,4
3	0,647	8 562	1,72	14 765	25 460	298,4	25 759	-1,98	6,99	49,6
4	1,051	6 725	2,57	17 304	44 526	618,8	45 145	-1,33	21,49	16,1
5	1,035	13 700	3,62	49 537	179 119	1 222,3	180 341	0,75	-18,38	-18,9
6	1,051	6 725	4,66	31 329	145 952	618,8	146 571	1,80	-15,87	-21,8
7	1,035	13 700	5,70	78 107	445 321	1 222,3	446 543	2,84	-4,88	-71,1
Total	6,219	58 378	3,38	197 324	845 879		850 226	183 255		
	Suma colum	Suma colum	ZNA	Suma columnas	Suma columnas		EI_{base}	EI_{NA}		
1	22	23	24	25	26	27	28	29	α máx. exterior τ res máx. en NA $\tau = 0$ en la parte superior y en el fondo	
Capa Nº	Factor de aceptación σ/σ_i *		Análisis de la tensión por cizalla					Factor de aceptación τ_0/τ_i *		
			Situación de τ	Z calc de NA	Primer mt Q $\Sigma E_i \cdot t_i$ $(z_i - z_{NA})$ Nmm	Flujo de cizalla q N/mm	τ_i media N/mm ²			
	$= (10)/(21)$			mm	calc	$= F \cdot (26)/EI_{NA}$	$= (27)/1$	$= (11)/(27)$		
1 exterior	1,04	Tracción	1-2 interfaz	2,68	13 584	0,4	0,4	22,4		
2	1,31	Tracción	2-3 interfaz	1,98	24 027	0,7	0,7	12,7		
3	1,85	Tracción	3-4 interfaz	1,33	38 203	1,1	1,1	6,5		
4	2,63	Tracción	4-5 interfaz	0,28	43 630	1,2	1,2	7,0		
5	-3,82	Compresión	5-6 interfaz	-0,75	40 400	1,1	1,1	6,1		
6	-2,68	Compresión	6-7 interfaz	-1,80	31 801	0,9	0,9	9,6		
7	-1,01	Compresión	por encima de 7	-2,84	0	0,0	0,0			
Momento flector de diseño permisible M_t de acuerdo con esta tabla					360	[(Nmm/mm) = M_t flector de diseño \times mini factor de aceptación para σ]				
Espesor requerido según la ecuación (35) y α de acuerdo con la media $\psi =$					4,79	mm				
Valor medio de $\psi =$ [base de la columna 5, con la ecuación (C.2)]					0,384	Valor de σ_{df} según la tabla C.4 a)				
El método del anexo H para el ejemplo del laminado de una sola capa nos da unos requisitos de espesor pesimistas de						90,5 N/mm ² 32%				

11.5.1. Columna 1

A la columna 1, definim el número de capa (1, 2, 3, ..n). Començant per la capa 1 (capa que dona al exterior) fins la capa "n" (capa interior). Si posaran tants números com capes tingui el material.

11.5.2. Columna 2

En aquesta columna definim el tipus de material (MAT, ROVING, UD, etc.)

11.5.3. Columna 3

En aquesta columna posem el pes en sec del material de cada capa, és a dir, w_i en kg/m^2 (massa de fibra). Al final de la columna 3 es posarà el sumatori de tots els valors de cada fila d'aquesta columna, és a dir: $w_T = w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n$

$$w_T = 0,300 + 0,300 + 0,500 + 0,450 + 0,800 + 0,450 + 0,800 = 3,600 \text{ kg/m}^2$$

11.5.4. Columna 4

Aquí es defineix de quin tipus de fibra es tracta, és a dir, G = Glass, C = Carbon, A = Aramida. És a dir, fibra de vidre, fibra de carboni o de aramida.

Fins aquí tenim:

1	2	3	4
Capa	Definició	Fibra	
Nº		Massa seca	tipus
		kg/m^2	*
		Input	G,C,A
1 outer	Mat 300	0.300	G
2	Mat 300	0.300	G
3	Rov 500	0.500	G
4	Mat 450	0.450	G
5	Rov 800	0.800	G

6	Mat 450	0.450	G
7	Rov 800	0.800	G
Total		3.600	
		Sumatori	

11.5.5. Columna 5

En aquesta columna es defineix la quantitat de fibra en massa per capa ψ_i . Per conèixer aquest valor cal consultar la taula C.2 del annex C de la norma. Al final d'aquesta columna es calcularà la mitja, i es farà amb l'equació que ja coneixem:

$$\psi = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n}{\frac{w_1}{\psi_1} + \frac{w_2}{\psi_2} + \frac{w_3}{\psi_3} + \dots + \frac{w_n}{\psi_n}}$$

Si analitzem cada fila sabent que és un modelat obert de superfície simple:

Fila 1: Mat estratificat = 0,30

Fila 2: Mat estratificat = 0,30

Fila 3: Roving = 0,48

Fila 4: Mat estratificat = 0,30

Fila 5: Roving = 0,48

Fila 6: Mat estratificat = 0,30

Fila 7: Roving = 0,48

Finalment, el contingut total mig de fibra de vidre és de:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7}{\frac{w_1}{\psi_1} + \frac{w_2}{\psi_2} + \frac{w_3}{\psi_3} + \frac{w_4}{\psi_4} + \frac{w_5}{\psi_5} + \frac{w_6}{\psi_6} + \frac{w_7}{\psi_7}} \\ &= \frac{0,3 + 0,3 + 0,5 + 0,450 + 0,8 + 0,450 + 0,8}{\frac{0,3}{0,3} + \frac{0,3}{0,3} + \frac{0,5}{0,48} + \frac{0,450}{0,3} + \frac{0,8}{0,48} + \frac{0,450}{0,3} + \frac{0,8}{0,48}} = 0,384 \end{aligned}$$

Com a qüestió complementària, calcularem l'espessor mitjançant l'expressió de l'annex C amb l'equació de l'espessor pel vidre tipus E:

$$t = w \cdot \frac{1}{3,072} \cdot \left(\frac{2,560}{\psi} - 1,36 \right) = 3,6 \cdot \frac{1}{3,072} \cdot \left(\frac{2,560}{0,384} - 1,36 \right) = 6,219 \text{ mm}$$

Dona exactament el mateix espessor que la suma de totes les capes per separat.

11.5.6. Columna 6

A la columna 5, es calcula el mòdul d'elasticitat de cada capa (en el pla) amb l'ajuda de les taules C.4, C.5 i C.6. Al final de la columna es calcularà el mòdul d'elasticitat mig amb la següent expressió que ja coneixem:

$$E_{mig} = \frac{\sum t_i \cdot E_i}{\sum t_i}$$

Cada mòdul elàstic és igual a:

$$E_1 = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,3 - 5000 = 6400 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,3 - 5000 = 6400 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,48 - 5000 = 13240 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,3 - 5000 = 6400 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,48 - 5000 = 13240 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,3 - 5000 = 6400 \text{ N/mm}^2$$

$$E_1 = 38000 \cdot \psi - 5000 = 38000 \cdot 0,48 - 5000 = 13240 \text{ N/mm}^2$$

11.5.7. Columna 12

Les files de la columna 12 s'hi posa el espessor t_i de cada capa, calculat usant les equacions de la C.1 a la C.3, a partir de la massa de fibra w_i i el contingut de fibra ψ_i . Al final de la columna 12, es sumaran tots els resultats, és a dir: $t_{\text{Total}} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$.

El càlcul dels espessors es realitzarà mitjançant les expressions donades per les equacions compreses de la C.1 a la C.6. En el nostre cas al usar fibra de vidre del tipus E, usarem l'equació C.1:

$$\text{Fila 1: } t_1 = w_1 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/\psi_1) - 1,36) = 0,300 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/0,30) - 1,36) = 0,701 \text{ mm}$$

$$\text{Fila 2: } t_2 = w_2 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/\psi_2) - 1,36) = 0,300 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/0,30) - 1,36) = 0,701 \text{ mm}$$

$$\text{Fila 3: } t_3 = w_3 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/\psi_3) - 1,36) = 0,500 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/0,48) - 1,36) = 0,647 \text{ mm}$$

$$\text{Fila 4: } t_4 = w_4 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/\psi_4) - 1,36) = 0,450 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/0,30) - 1,36) = 1,051 \text{ mm}$$

$$\text{Fila 5: } t_5 = w_5 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/\psi_5) - 1,36) = 0,800 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/0,48) - 1,36) = 1,035 \text{ mm}$$

$$\text{Fila 6: } t_6 = w_6 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/\psi_6) - 1,36) = 0,450 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/0,30) - 1,36) = 1,051 \text{ mm}$$

$$\text{Fila 7: } t_7 = w_7 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/\psi_7) - 1,36) = 0,800 \cdot (1/3,072) \cdot ((2,56/0,48) - 1,36) = 1,035 \text{ mm}$$

La suma dels espessors és igual a:

$$t_{\text{Total}} = \sum t_i = 0,701 + 0,701 + 0,647 + 1,051 + 1,035 + 1,051 + 1,035 = 6,219 \text{ mm}$$

11.5.8. Columna 13

El valor de cada fila de la columna 13 és el resultat de multiplicar el valor de cada fila de la columna 6 per el valor de cada fila de la columna 12, és a dir, $E_i \cdot t_i$. Al final de la columna 13 es posarà el resultat de sumar tots els valors de les files d'aquesta columna, és a dir: $E_T \cdot t_T = E_1 \cdot t_1 + E_2 \cdot t_2 + E_3 \cdot t_3 + \dots + E_n \cdot t_n$

$$\sum t_i \cdot E_i = 6400 \cdot 0,701 + 6400 \cdot 0,701 + 13240 \cdot 0,647 + 6400 \cdot 1,051 + 13240 \cdot 1,035 + 6400 \cdot 1,051 + 13240 \cdot 1,035 = 58378 \text{ N/mm}$$

Finalment el mòdul mig és igual a:

$$E_{mig} = \frac{\sum t_i \cdot E_i}{\sum t_i} = \frac{58378}{6,219} = 9387 \text{ N/mm}^2$$

11.5.9. Columna 14

La norma utilitza una taula “excel” per a resoldre tots els càlculs. I amb un “excel” mentre es tingui clar el que es vol fer, no cal seguir un ordre. Però per a nosaltres per a prosseguir amb els càlculs ens és imprescindible treballar ara amb la columna 14. La columna 14 permet calcular la distancia del centre de gravetat de cada capa z_{gi} respecte de la línia base (cara exterior de la capa 1). És a dir:

Fila 1: $z_{g1} = t_1/2 = 0,350 \text{ mm}$

Fila 2: $z_{g2} = t_1 + (t_2/2) = 1,050 \text{ mm}$

Fila 3: $z_{g3} = t_1 + t_2 + (t_3/2) = 1,720 \text{ mm}$

Fila 4: $z_{g4} = t_1 + t_2 + t_3 + (t_4/2) = 2,570 \text{ mm}$

Fila 5: $z_{g5} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + (t_5/2) = 3,620 \text{ mm}$

Fila 6: $z_{g6} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + (t_6/2) = 4,660 \text{ mm}$

Fila 7: $z_{g7} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + (t_7/2) = 5,700 \text{ mm}$

Al final de la columna 14 es posarà el valor de la z_{NA} . Que es calcula dividint el sumatori de la columna 15 entre el sumatori de la columna 13. És a dir:

$$z_{NA} = \frac{\sum E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}}{\sum E_i \cdot t_i}$$

11.5.10. Columna 15

Cada valor de cada fila de la columna 15 és el producte de cada valor de les files de les columnes 13 i 14 (ó 6, 12 i 14). És a dir: $E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}$. Al final d'aquesta columna es posa el sumatori de tots els valors de cada fila. És a dir:

$$\sum E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}$$

$$E_1 t_1 z_{g1} = 6400 \cdot 0,701 \cdot 0,350 = 1570,24 \text{ N}$$

$$E_2 t_2 z_{g2} = 6400 \cdot 0,701 \cdot 1,050 = 4711,00 \text{ N}$$

$$E_3 t_3 z_{g3} = 13240 \cdot 0,647 \cdot 1,720 = 14764,81 \text{ N}$$

$$E_4 t_4 z_{g4} = 6400 \cdot 1,051 \cdot 2,570 = 17304,32 \text{ N}$$

$$E_5 t_5 z_{g5} = 13240 \cdot 1,035 \cdot 3,620 = 49536,63 \text{ N}$$

$$E_6 t_6 z_{g6} = 6400 \cdot 1,051 \cdot 4,660 = 31329,33 \text{ N}$$

$$E_7 t_7 z_{g7} = 13240 \cdot 1,035 \cdot 5,700 = 78107,44 \text{ N}$$

$$\sum E_i \cdot t_i \cdot z_{gi} = 1570,24 + 4711,00 + 14764,81 + 17304,32 + 49536,63 + 31329,33 + 78107,44 = 197323,876 \text{ N}$$

Finalment,

$$z_{NA} = \frac{\sum E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}}{\sum E_i \cdot t_i} = \frac{197323,876}{9387} = 3,38 \text{ mm}$$

11.5.11. Columna 16

Cada valor de cada fila de la columna 16 és el resultat de multiplicar cada valor de cada fila de la columna 15 per z_{gi} . És a dir: $E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}^2$. Al final d'aquesta columna es posa el sumatori de tots els valors de cada fila. Això s'expressa com:

$$\sum E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}^2$$

$$\begin{aligned} E_1 t_1 z_{g1}^2 &= 6400 \cdot 0,701 \cdot 0,350^2 = 550 \text{ Nmm} \\ E_2 t_2 z_{g2}^2 &= 6400 \cdot 0,701 \cdot 1,050^2 = 4950,23 \text{ Nmm} \\ E_3 t_3 z_{g3}^2 &= 13240 \cdot 0,647 \cdot 1,720^2 = 25460,33 \text{ Nmm} \\ E_4 t_4 z_{g4}^2 &= 6400 \cdot 1,051 \cdot 2,570^2 = 44526,34 \text{ Nmm} \\ E_5 t_5 z_{g5}^2 &= 13240 \cdot 1,035 \cdot 3,620^2 = 179118,76 \text{ Nmm} \\ E_6 t_6 z_{g6}^2 &= 6400 \cdot 1,051 \cdot 4,660^2 = 145952,00 \text{ Nmm} \\ E_7 t_7 z_{g7}^2 &= 13240 \cdot 1,035 \cdot 5,700^2 = 445320,91 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Finalment:

$$E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}^2 = 550 + 4950,23 + 25460,33 + 44526,34 + 179118,76 + 145952,00 + 445320,91 = 845878,60 \text{ Nmm}$$

11.5.12. Columna 17

Cada fila de la columna 17 és el resultat de multiplicar cada fila de la columna 6 per cada fila de la columna 12 elevat al cub. El resultat es divideix entre 12.

$$E_i \cdot t_i^3 / 12$$

En altres paraules:

$$\begin{aligned} E_1 t_1^3 / 12 &= (1/12) \cdot 6400 \cdot 0,701^3 = 183,342 \text{ Nmm} \\ E_2 t_2^3 / 12 &= (1/12) \cdot 6400 \cdot 0,701^3 = 183,342 \text{ Nmm} \\ E_3 t_3^3 / 12 &= (1/12) \cdot 13240 \cdot 0,647^3 = 298,413 \text{ Nmm} \\ E_4 t_4^3 / 12 &= (1/12) \cdot 6400 \cdot 1,051^3 = 618,779 \text{ Nmm} \\ E_5 t_5^3 / 12 &= (1/12) \cdot 13240 \cdot 1,035^3 = 1222,301 \text{ Nmm} \\ E_6 t_6^3 / 12 &= (1/12) \cdot 6400 \cdot 1,051^3 = 618,779 \text{ Nmm} \\ E_7 t_7^3 / 12 &= (1/12) \cdot 13240 \cdot 1,035^3 = 1222,301 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

11.5.13. Columna 18

La columna 18 dóna $(E_i \cdot I_i) = (E_i \cdot t_i^3/12) + (E_i \cdot t_i \cdot z_{gi}^2)$ calculada respecte la línia base, és a dir, amb respecte la cara exterior ($z_{base} = 0$). Es tracta de la suma dels segons moments d'àrea de cada capa respecte el seu propi centre de gravetat i, segons el teorema de transport d'eixos, l'àrea multiplicada pel quadrat de la distància respecte la base. En altres paraules, és la suma de la columna 16 i 17. Al final, es sumaran els resultats parcials, és a dir, es calcularà la EI_{base} .

$$(EI)_1 = 550 + 183,342 = 733,368 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_2 = 4950,23 + 183,342 = 5133,575 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_3 = 25460,33 + 298,413 = 25758,739 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_4 = 44526,34 + 618,779 = 45145,118 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_5 = 179118,76 + 1222,301 = 180341,064 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_6 = 145952,00 + 618,779 = 146570,782 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_7 = 445320,91 + 1222,301 = 446543,214 \text{ Nmm}^2$$

$$EI_{base} = 733,368 + 5133,575 + 25758,739 + 45145,118 + 180341,064 + 146570,782 + 446543,214 = 850225,861 \text{ Nmm}^2$$

$$EI_{NA} = EI_{base} - (z_{NA}^2 \cdot \sum(E_i \cdot t_i)) = 850225,861 - ((-3,38)^2 \cdot 58378) = 183255,082$$

11.5.14. La columna 19

Finalment, a la columna 19 es calcula la secció crítica de cada capa, és a dir, la que estigui més distant de la fibra neutra. En altres paraules, és la distància entre la cara exterior de cada capa respecte l'eix neutre.

La funció lògica és la següent:

$$\text{Si } (z_{gi} \leq z_{na}; z_{gi} - z_{na} - (t_i/2); z_{gi} - z_{na} + (t_i/2))$$

Fila 1: -3,38 mm

Fila 2: -2,68 mm

Fila 3: -1,98 mm

Fila 4: -1,33 mm

Fila 5: 0,75 mm

Fila 6: 1,80 mm

Fila 7: 2,84 mm

11.5.15. Columna 20

En la columna 20, estan calculats els mòduls d'inèrcia per a cada capa:

$$SM_i = - \frac{EI_{NA}}{z_{crit} \cdot E_i}$$

Fila 1: $-(EI)_1/z_{crit1} \cdot E_1 = -183255,082/(-3,38 \cdot 6400) = 8,471 \text{ mm}^2$
 Fila 2: $-(EI)_2/z_{crit2} \cdot E_2 = -183255,082/(-2,68 \cdot 6400) = 10,686 \text{ mm}^2$
 Fila 3: $-(EI)_3/z_{crit3} \cdot E_3 = -183255,082/(-1,98 \cdot 13240) = 6,994 \text{ mm}^2$
 Fila 4: $-(EI)_4/z_{crit4} \cdot E_4 = -183255,082/(-1,33 \cdot 6400) = 21,491 \text{ mm}^2$
 Fila 5: $-(EI)_5/z_{crit5} \cdot E_5 = -183255,082/(0,75 \cdot 13240) = -18,377 \text{ mm}^2$
 Fila 6: $-(EI)_6/z_{crit6} \cdot E_6 = -183255,082/(1,80 \cdot 6400) = -15,873 \text{ mm}^2$
 Fila 7: $-(EI)_7/z_{crit7} \cdot E_7 = -183255,082/(2,84 \cdot 13240) = -4,876 \text{ mm}^2$

11.5.16. Columna 21

En la columna 21 es calculen les tensions en cada capa:

$$\sigma_i = \frac{M}{SM_i}$$

Fila 1: $= 347/8,471 = 40,921 \text{ N/mm}^2$
 Fila 2: $= 347/10,686 = 32,440 \text{ N/mm}^2$
 Fila 3: $= 347/6,994 = 49,566 \text{ N/mm}^2$
 Fila 4: $= 347/21,491 = 16,130 \text{ N/mm}^2$
 Fila 5: $= 347/-18,377 = -18,863 \text{ N/mm}^2$
 Fila 6: $= 347/-15,873 = -21,839 \text{ N/mm}^2$
 Fila 7: $= 347/-4,876 = -71,095 \text{ N/mm}^2$

11.5.17. Columna 7

Per poder calcular els valors d'aquesta columna prèviament necessitem conèixer on es situa la línia neutra z_{NA} , quines capes estan sotmeses a tracció i quines a compressió. Per això caldrà consultar prèviament la columna 21. Segons el conveni de signes de la norma en (+) es situen les capes sotmeses a tracció i en (-) a compressió. Un cop aclarit aquest tema, amb les taules C.4, C.5 i C.6 (o de dades particulars) es calcularàn els valors de σ_c i σ_t .

Per tant, de la fila 1 a la 4 (inclosa) s'utilitzarà l'expressió per a les capes sotmeses a tracció: $\sigma_{ut} = 800 \cdot \psi^2 - 80 \cdot \psi + 37$.

De la fila 4 a la 7 s'utilitzarà l'expressió per a les capes sotmeses a compressió:
 $\sigma_{uc} = 150 \cdot \psi + 72$.

Per tant:

$$\text{Fila 1 (tracció): } \sigma_{ut} = 800 \cdot \psi^2 - 80 \cdot \psi + 37 = 800 \cdot 0,3^2 - 80 \cdot 0,3 + 37 = 85 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 2 (tracció): } \sigma_{ut} = 800 \cdot \psi^2 - 80 \cdot \psi + 37 = 800 \cdot 0,3^2 - 80 \cdot 0,3 + 37 = 85 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 3 (tracció): } \sigma_{ut} = 800 \cdot \psi^2 - 80 \cdot \psi + 37 = 800 \cdot 0,48^2 - 80 \cdot 0,48 + 37 = 183 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 4 (tracció): } \sigma_{ut} = 800 \cdot \psi^2 - 80 \cdot \psi + 37 = 800 \cdot 0,3^2 - 80 \cdot 0,3 + 37 = 85 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 5 (compressió): } \sigma_{uc} = 150 \cdot \psi + 72 = 150 \cdot 0,48 + 72 = 144 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 6 (compressió): } \sigma_{uc} = 150 \cdot \psi + 72 = 150 \cdot 0,3 + 72 = 117 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 7 (compressió): } \sigma_{uc} = 150 \cdot \psi + 72 = 150 \cdot 0,48 + 72 = 144 \text{ N/mm}^2$$

11.5.18. Columna 8

La tensió de cisalla analitzada aquí és la tensió interlaminar. Es tracta de la tensió de cisalla que tendeix a fer deslligar una capa amb respecte l'altra y es diferent a la tensió de cisalla donada en les taules de la C.4 a la C.6, que es refereix a les distorsions degudes a la cisalla en un pla donat. La tensió de cisalla interlaminar depèn en gran mesura de la resina i es normalment molt més dèbil que la tensió de cisalla en el pla (interlaminar). Pels laminats a base de polièster, el valor de la resistència a la cisalla interlaminar τ_{IL} ve donat aproximadament per:

$$\tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi$$

Per tant,

$$\text{Fila 1: } \tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi = 22,5 - 17,5 \cdot 0,3 = 17,250 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 2: } \tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi = 22,5 - 17,5 \cdot 0,3 = 17,250 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 3: } \tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi = 22,5 - 17,5 \cdot 0,48 = 14,100 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 4: } \tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi = 22,5 - 17,5 \cdot 0,3 = 17,250 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 5: } \tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi = 22,5 - 17,5 \cdot 0,48 = 14,100 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 6: } \tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi = 22,5 - 17,5 \cdot 0,3 = 17,250 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fila 7: } \tau_{IL} = 22,5 - 17,5 \cdot \psi = 22,5 - 17,5 \cdot 0,48 = 14,100 \text{ N/mm}^2$$

11.5.19. Columna 9

Aquesta columna ens dona la relació entre la resistència i la tensió de disseny a partir de la taula 7. Per tant, tots els valors de la columna 9 son sempre 0,5. Permeten calcular els valors de les columnes 10 i 11.

11.5.20. Columnes 10 i 11

Els valors de cada fila de les columnes 9 i 10, són els valors de les tensions de disseny σ_d i τ_d . Es calculen fent el producte dels valors de la columna 7 per 0,5 i dels valors de la columna 8 per 0,5. (Això es fa en compliment de la taula 7).

Columna 10:

Fila 1: $\sigma_d = 0,5 \cdot 85 = 42,5 \text{ N/mm}^2$
 Fila 2: $\sigma_d = 0,5 \cdot 85 = 42,5 \text{ N/mm}^2$
 Fila 3: $\sigma_d = 0,5 \cdot 183 = 91,5 \text{ N/mm}^2$
 Fila 4: $\sigma_d = 0,5 \cdot 85 = 42,5 \text{ N/mm}^2$
 Fila 5: $\sigma_d = 0,5 \cdot 144 = 72,0 \text{ N/mm}^2$
 Fila 6: $\sigma_d = 0,5 \cdot 117 = 58,5 \text{ N/mm}^2$
 Fila 7: $\sigma_d = 0,5 \cdot 144 = 72,0 \text{ N/mm}^2$

Columna 11:

Fila 1: $\tau_d = 0,5 \cdot 17,250 = 8,6 \text{ N/mm}^2$
 Fila 2: $\tau_d = 0,5 \cdot 17,250 = 8,6 \text{ N/mm}^2$
 Fila 3: $\tau_d = 0,5 \cdot 14,100 = 7,1 \text{ N/mm}^2$
 Fila 4: $\tau_d = 0,5 \cdot 17,250 = 8,6 \text{ N/mm}^2$
 Fila 5: $\tau_d = 0,5 \cdot 14,100 = 7,1 \text{ N/mm}^2$
 Fila 6: $\tau_d = 0,5 \cdot 17,250 = 8,6 \text{ N/mm}^2$
 Fila 7: $\tau_d = 0,5 \cdot 14,100 = 7,1 \text{ N/mm}^2$

11.5.20. Columna 22

En aquesta columna es calcula el factor d'acceptació per cada capa i és la relació entre:

$$C_F = \sigma_d / \sigma_i$$

En altres paraules, per a les tensions de tracció/compressió:

Fila 1: $C_F = \sigma_d / \sigma_i = 42,5 / 40,9 = 1,039$
 Fila 2: $C_F = \sigma_d / \sigma_i = 42,5 / 32,4 = 1,312$
 Fila 3: $C_F = \sigma_d / \sigma_i = 91,5 / 49,6 = 1,845$
 Fila 4: $C_F = \sigma_d / \sigma_i = 42,5 / 16,1 = 2,635$
 Fila 5: $C_F = \sigma_d / \sigma_i = 72,0 / -18,9 = -3,817$
 Fila 6: $C_F = \sigma_d / \sigma_i = 58,5 / -21,8 = -2,679$
 Fila 7: $C_F = \sigma_d / \sigma_i = 72,0 / -71,1 = -1,013$

11.5.21. Columna 23

Aquesta columna indica si la tensió és de tracció (signe positiu del C_F) o de compressió (signe negatiu del C_F). Com s'ha indicat abans:

Fila 1: Tracció
 Fila 2: Tracció
 Fila 3: Tracció
 Fila 4: Tracció
 Fila 5: Compressió
 Fila 6: Compressió
 Fila 7: Compressió

11.5.22. Columna 24

S'indica la interfase, és a dir, la zona d'actuació de l'esforç de cisallament.

11.5.23. Columna 25

La columna 25 o z_{calc} des de la z_{na} es calcula de la següent manera:

Fila	z_{calc}
Fila 1	$z_{\text{na}} - t_1$
Fila 2	$z_{\text{na}} - t_1 - t_2$
Fila 3	$z_{\text{na}} - t_1 - t_2 - t_3$
Fila 4	$z_{\text{na}} - t_1 - t_2 - t_3 - t_4$
Fila 5	$z_{\text{na}} - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5$
Fila 6	$z_{\text{na}} - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6$
Fila 7	$z_{\text{na}} - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6 - t_7$

Fila 1: $Z_{\text{Calc}} = 3,38 - 0,071 = 2,680 \text{ mm}$

Fila 2: $Z_{\text{Calc}} = 3,38 - 0,071 - 0,071 = 1,979 \text{ mm}$

Fila 3: $Z_{\text{Calc}} = 3,38 - 0,071 - 0,071 - 0,647 = 1,332 \text{ mm}$

Fila 4: $Z_{\text{Calc}} = 3,38 - 0,071 - 0,071 - 0,647 - 1,051 = 0,282 \text{ mm}$

Fila 5: $Z_{\text{Calc}} = 3,38 - 0,071 - 0,071 - 0,647 - 1,051 - 1,035 = -0,753 \text{ mm}$

Fila 6: $Z_{\text{Calc}} = 3,38 - 0,071 - 0,071 - 0,647 - 1,051 - 1,035 - 1,051 = -1,804 \text{ mm}$

Fila 7: $Z_{\text{Calc}} = 3,38 - 0,071 - 0,071 - 0,647 - 1,051 - 1,035 - 1,051 - 1,035 = -2,839 \text{ mm}$

11.5.24. Columna 26

Aquesta columna està explicada d'una forma que costa d'entendre i un es pot trobar sense saber si els resultats d'aquesta són incorrectes. Però es calcula de la següent manera:

$$\sum E_i \cdot t_i \cdot (z_i - z_{NA})$$

Per tant,

$$\begin{aligned} Q_1 &= E_1 \cdot t_1 \cdot (z_{NA} - z_{g1}) = 4483 \cdot (3,38 - 0,35) = 13583,698 \text{ N} \\ Q_2 &= Q_1 + E_2 \cdot t_2 \cdot (z_{NA} - z_{g2}) = 13583,698 + 4483 \cdot (3,38 - 1,05) = 24026,727 \text{ N} \\ Q_3 &= Q_2 + E_3 \cdot t_3 \cdot (z_{NA} - z_{g3}) = 24026,727 + 8562 \cdot (3,38 - 1,72) = 38203,278 \text{ N} \\ Q_4 &= Q_3 + E_4 \cdot t_4 \cdot (z_{NA} - z_{g4}) = 38203,278 + 6725 \cdot (3,38 - 2,57) = 43630,002 \text{ N} \\ Q_5 &= Q_4 + E_5 \cdot t_5 \cdot (z_{NA} - z_{g5}) = 43630,002 + 13700 \cdot (3,38 - 3,62) = 40399,553 \text{ N} \\ Q_6 &= Q_5 + E_6 \cdot t_6 \cdot (z_{NA} - z_{g6}) = 40399,553 + 6725 \cdot (3,38 - 4,66) = 31801,267 \text{ N} \\ Q_7 &= Q_6 + E_7 \cdot t_7 \cdot (z_{NA} - z_{g7}) = 31801,267 + 13700 \cdot (3,38 - 5,70) = 0,000 \text{ N} \end{aligned}$$

11.5.25. Columna 27

Aquesta columna permet calcular el flux de cisalla "q" que és la relació del producte de l'esforç de cisallament F_d i els valors de la columna anterior entre EI_{NA} :

$$q = Fd \frac{Q \cdot E}{EI_{NA}} = Fd \cdot \frac{(26)}{EI_{NA}}$$

Per tant,

$$\begin{aligned} q_1 &= 5,2 \cdot (13583,698/183255) = 0,385 \text{ N/mm} \\ q_2 &= 5,2 \cdot (24026,727/183255) = 0,682 \text{ N/mm} \\ q_3 &= 5,2 \cdot (38203,278/183255) = 1,084 \text{ N/mm} \\ q_4 &= 5,2 \cdot (43630,002/183255) = 1,238 \text{ N/mm} \\ q_5 &= 5,2 \cdot (40399,553/183255) = 1,146 \text{ N/mm} \\ q_6 &= 5,2 \cdot (31801,267/183255) = 0,902 \text{ N/mm} \\ q_7 &= 5,2 \cdot (0,000/183255) = 0,000 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

11.5.26. Columna 28

Cada valor de les files de la columna 28 és el resultat de dividir els valors de l'anterior columna 27 entre 1mm. Això dona com a resultat τ_i .

$$\begin{aligned} \tau_1 &= (5,2 \cdot (13583,698/183255))/1 = 0,385 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_2 &= (5,2 \cdot (24026,727/183255))/1 = 0,682 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_3 &= (5,2 \cdot (38203,278/183255))/1 = 1,084 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_4 &= (5,2 \cdot (43630,002/183255))/1 = 1,238 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_5 &= (5,2 \cdot (40399,553/183255))/1 = 1,146 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_6 &= (5,2 \cdot (31801,267/183255))/1 = 0,902 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_7 &= (5,2 \cdot (0,000/183255))/1 = 0,000 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

11.5.27. Columna 29

En aquesta columna es calcula el factor d'acceptació per a cada capa:

$$C_F = \tau_d / \tau_i$$

És el resultat de dividir cadascun dels valors de la columna (11) entre els de la columna (28).

Nota 1: A la línia neutra $\sigma_i = 0$ i $\tau_i =$ màxima.

Nota 2: En els extrems $\sigma_i =$ màxima i $\tau_i = 0$.

$$C_{F1} = \tau_{d1} / \tau_1 = 8,6 / 0,385 = 22,377 \text{ OK}$$

$$C_{F1} = \tau_{d1} / \tau_1 = 8,6 / 0,682 = 12,651 \text{ OK}$$

$$C_{F1} = \tau_{d1} / \tau_1 = 7,1 / 1,084 = 6,503 \text{ OK}$$

$$C_{F1} = \tau_{d1} / \tau_1 = 8,6 / 1,238 = 6,967 \text{ OK}$$

$$C_{F1} = \tau_{d1} / \tau_1 = 7,1 / 1,146 = 6,150 \text{ OK}$$

$$C_{F1} = \tau_{d1} / \tau_1 = 8,6 / 0,902 = 9,558 \text{ OK}$$

$$C_{F1} = \tau_{d1} / \tau_1 = 7,1 / 0,000 = \infty > 1 \text{ OK}$$

11.5.28. Requeriments pessimistes d'espessor

a. Moment flector de disseny permisible d'acord amb els anteriors càlculs:

$$M_{fp} = M_d \cdot C_{Fmin} = 347 \cdot 1,04 = 360 \text{ Nmm/mm}$$

b. Resistència de ruptura per flexió d'acord amb la taula C.4 ($\psi_{mig} = 0,384$):

$$\sigma_f = 502 \cdot \psi^2 + 107 = 502 \cdot 0,384^2 + 107 = 181,023 \text{ N/mm}^2$$

c. Espessor requerit d'acord amb l'equació (35) :

$$t_{(35)} = b \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}} = 400 \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 0,5}{1000 \cdot 0,5 \cdot 181,023}} = 4,794 \text{ mm}$$

d. Els requeriments pessimistes d'espessor es calculen de la següent manera:

$$R_p = \frac{t_{Total} \cdot \sqrt{C_{Fmin}}}{t_{(35)}} - 1 = \frac{6,219 \cdot \sqrt{1,039}}{4,794} - 1 = 32,190 \%$$

12. ESCANTILLONAT DE PANELLS DE FUSTA

12.1. CONSIDERACIONS SOBRE LA FUSTA

A mesura que s'han anat esgotant els arbres robusts que hi havia als boscos de tot el món degut a la sobreexplotació o a raons com que alguns països han prohibit la seva explotació i una societat que ha anat demandant estructures que suporten cargues i llums majors, les grans seccions d'arbres són difícils d'obtenir amb fustes asserrades. L'avanç tecnològic de coles i resines ha permès que la fusta pugui unir-se, tant en els extrems com lateralment.

12.2. CONTRAPLACAT MARÍ

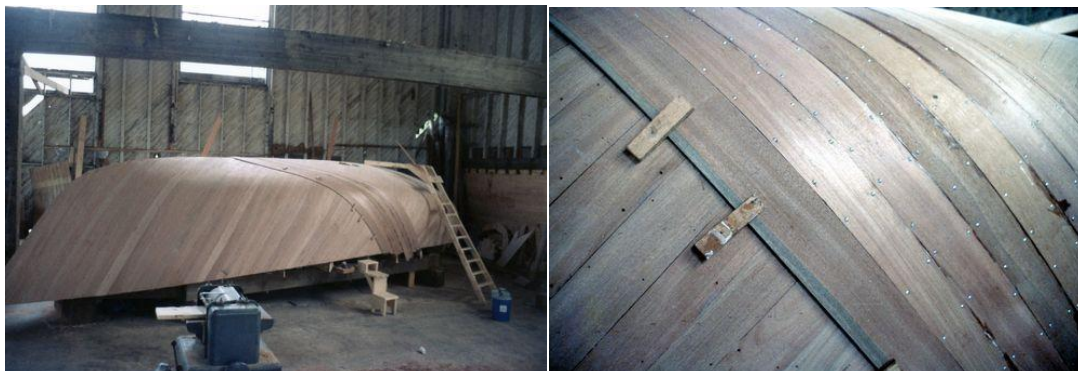
El contraplacat està constituït per capes prefabricades (5 com a mínim), orientades 0-90° y disposades generalment de manera que les fibres exteriors siguin paral·leles o perpendiculars als costats del panel.



La construcció en panells de contraplacat s'utilitza quasi exclusivament en les formes de pantoc viu. Les quadernes solen arribar fins al terra (si es construeix el vaixell a l'inversa) i les plaques de contraplacat es claven directament a les quadernes, el pantoc, el durment del bao, la quilla, etc. Que s'encaixen a dins de les quadernes.

12.3. FUSTA MODELADA IN SITU¹

La fusta modelada està constituïda per fulles fines de fusta, orientades $\pm 45^\circ$ respecte els costats del panell i comprèn almenys tres capes. La capa exterior pot ser paral·lela o perpendicular al panell.



Exemples de fusta modelada "in situ".

En el modelat en fred, es col·loquen les quadernes provisionals entre joncs situats a poca distància, formant un motlle de joncs. Normalment es col·loca la quilla, la roda, i possiblement el codast. Després es clava l'empostissat als joncs, la quilla i la roda. La primera capa interior s'aïlla dels joncs amb una fina làmina de plàstic per evitar que s'enganxi tot. Com a mínim es col·loquen tres folres: els dos primers van en diagonal en direccions oposades, amb el folre exterior col·locat bé de proa a popa i una altra vegada en diagonal, en la mateixa direcció que la primera capa. Els folres, que poden ser de trossos de contraplacat o de fusta, s'encolen junts sobre el motlle; més tard, s'extreu del motlle el casc complet amb la quilla, la roda i la resta, per col·locar quadernes i mampares.

Si es considera necessari, una extensió del procés de modelat en fred permet la construcció sense quadernes. En primer lloc es forma el casc col·locant els empostissats de cintes sobre el motlle. Els empostissats són bastant estrets, van de proa a popa i tenen els cantons encolats. Sobre aquesta estructura, es du a terme, el modelat en fred normal, encolat al empostissat. El modelat en fred produeix un casc resistent i lleuger. Com a totes les estructures encolades, no resulta fàcil de reparar i el fet de construir un motlle amb joncs resulta un inconvenient.

¹ En el fons el contraplacat i la fusta modelada "in situ" són el mateix. La gran diferència a part de la disposició de les capes, és que, en general el contraplacat te'l venen en panells plans d'espessor requerit que es tallen segons les necessitats constructives i normalment el tipus de construcció és de costats rectes y pantoc viu.

12.4. TIRES UNIDES ENCOLADES (“STRIP PLANKING”)²

Són tires estretes encolades pel seu cantó i eventualment unides longitudinalment costat amb costat, estant suportades per quadernes transversals. Aquest mètode inclou el sistema de tires encolades combinades amb capes de fusta modelada.



Exemple de “strip planking”

² El “strip planking” s’assembla molt a el que es venia fent en la construcció tradicional, però aquí no es calafateja, és a dir, no s’omple amb estopa les juntes de las taules de la coberta, costats i fons, recobrint-les després amb quitrà.

12.5. PROCEDIMENT D'ESCANTILLONAT AMB FUSTA

De manera semblant a la fibra de vidre, es treballarà amb la fusta. És a dir, un cop calculada la pressió de disseny hem de calcular la tensió de disseny σ_d que com abans és el producte de 0,5 i σ_{uf} . Aleshores, l'espessor requerit pel costat de fusta laminada “t”, excloent tota petita capa de protecció és:

$$t = b \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}}$$

k_2 segons la norma és igual a 0,5, doncs la fusta laminada és massa anisotrópica. Aleshores:

$$t = b \cdot \sqrt{\frac{P \cdot 0,5}{1000 \cdot 0,5 \cdot \sigma_{uf}}} = b \cdot \sqrt{\frac{P}{1000 \cdot \sigma_{uf}}}$$

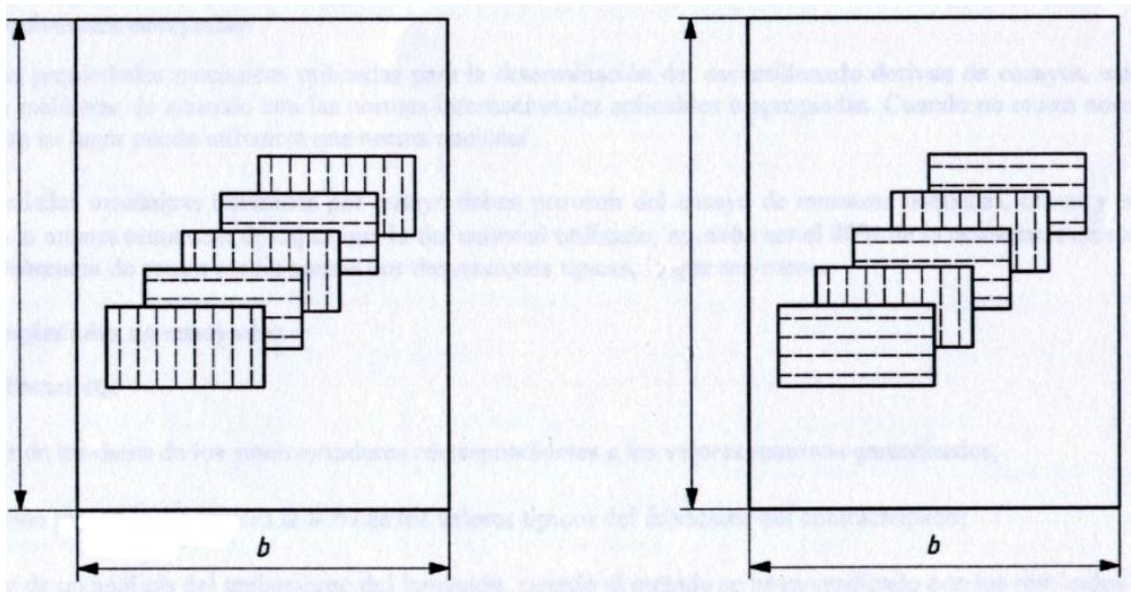
Les equacions de la taula E.2 calculen la resistència de ruptura per flexió σ_{uf} i el mòdul elàstic dels panells de la fusta laminada. És a dir, σ_{uf} s'extreu de les equacions de la taula E.2 i cada cop que a les equacions hi surti un σ_{uf} o σ_f , es refereix als valors de la taula E.1. És a dir, les equacions per a la fusta modelada i de les tires unides encolades treballen amb els resultats i valors de la taula E.1. Aquesta taula dóna els resultats de la tensió de flexió, compressió i cisallament en el pla de les fibres base de la fusta. En aquest punt la nomenclatura és confosa.

12.5.1. Contraplacat

Un cop coneguts el número de capes que volem posar, N_{ply} i la densitat de la nostre fusta la substituïm en l'expressió corresponent de la Taula E.2 (les equacions relatives al contraplacat). El resultat σ_{uf} es multiplicarà per 0,5 per tal d'obtenir σ_d .

Especificaciones	Resistencia de rotura por flexión σ_{uf} N/mm ²	Módulo elástico en flexión ^c E_f N/mm ²
Contrachapado		
Paralelo a las fibras de la cara ^a	$\left(\frac{\rho_{PW}}{1000}\right)^{0,5} (68 - 2 N_{ply} + 0,03 N_{ply}^2)$	$\left(\frac{\rho_{PW}}{1000}\right)^{0,75} (11\,400 - 580 N_{ply} + 16 N_{ply}^2)$
Perpendicular a las fibras de la cara ^b	$\left(\frac{\rho_{PW}}{1000}\right)^{0,5} (11 + 6,5 N_{ply} - 0,28 N_{ply}^2)$	$\left(\frac{\rho_{PW}}{1000}\right)^{0,75} (1\,320 N_{ply} - 55 N_{ply}^2 - 1\,200)$
^a ρ_{PW} es la densidad (en kg/m ³ /1 000) del contrachapado en cuestión. Este valor se debe obtener por medición sobre muestras reales. Este valor debe comprender la presencia de capas de cola y puede exceder la densidad de la madera de base en un 10% o más.		
^b N_{ply} es el número de capas, que está previsto que sea un número impar comprendido entre 5 y 15.		

Tal com informa la taula, el valor de la densitat del contraplacat s'extreu de mesures reals. S'escollirà una expressió o una altra segons les direccions de les fibres de les capes exteriors. És a dir, si aquestes son paral·leles (primera equació) o no (segona equació) a la dimensió menor del panell. Hem d'entendre que en un panell hi ha dues cares exteriors i ambdues han de ser o paral·leles o perpendiculars a "b". El que no contempen les anteriors equacions és el cas de que les fibres de les cares exteriors siguin perpendiculars entre elles.



Aquest és un exemple d'un contraplacat de cinc capes. Les línies discontinues representen les fibres de la fusta.

12.5.2. Fusta modelada en capes de $\pm 45^\circ$

En aquest apartat cal conèixer diverses qüestions: el nombre de capes i la tensió de flexió (σ_{uf} ó σ_f) de les fustes de la taula E.1. Aquí també cal tenir en compte que la pròpia nomenclatura de la norma és confosa.

Madera moldeada con capas $\pm 45^\circ$		
Todas las capas están a $\pm 45^\circ$ con respecto a la dimensión menor del panel (válido en las dos dimensiones mayor y menor del panel)	$0,3 \alpha_{uf}$ de la madera de base	$0,2 E_f$ de la madera de base
Capa final dispuesta a 90° de la dirección menor del panel		
En la dirección menor del panel	$(0,01 N_{ply} + 0,17) \sigma_f$ de la madera de base	$(0,006 N_{ply} + 0,14) E_f$ de la madera de base
En la dirección mayor del panel	No aplicable al panel ^d	$0,35 E_f$ de la madera de base

Finalment, cal conèixer la direcció de les fibres de la capa exterior. Si totes les fibres estan a $\pm 45^\circ$ utilitzarem les equacions de la primera fila. Si hi ha una capa final a 90° aleshores utilitzarem les equacions de la segona fila.

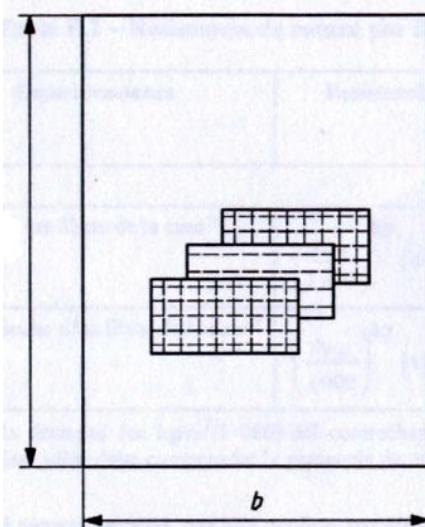
12.5.3. Escantillonat de tires unides encolades ("strip planking")

Com es veurà a continuació, la taula sols dóna una expressió per a la tensió σ_{uf} . Tal com diu la taula és perquè "es suposa que la fibra de la tira està disposada de forma paral·lela amb la dimensió menor del panell". Lògicament, les tires van principalment en la direcció proa-popa.

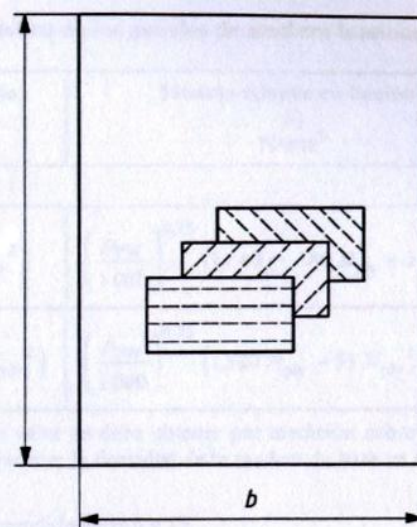
Tiras unidas encoladas ("strip planking")		
Se supone que la fibra de la tira está dispuesta en paralelo con la dimensión menor del panel	$1,6 (\sigma_L/\sigma_S)^{0,5} \times \sigma_{uf}$ de la madera de base de la tira ^e	

El quocient σ_L/σ_S és la relació entre les resistències del panell en paral·lel respectivament a la major i a la menor dimensió del mateix. Els valors típics d'aquesta relació són tal com diu la taula:

Valores típicos de σ_L/σ_S
Para las tiras de madera ("strip planking") con un laminado de protección muy ligero: 0,07.
Para las tiras de madera con un laminado de 1 mm o más, interior y exterior: 0,14.
Para las tiras de madera con capas a $\pm 45^\circ$, cuando el espesor de la capa es inferior al 50% del de la tira de madera: 0,20.
NOTA Se ha previsto que estos valores de σ_L/σ_S y la utilización de la resistencia a la flexión del "strip planking" sean conservadores. Se pueden obtener mejores estimaciones mediante ensayos o utilizando el método descrito en el anexo H.
Se puede obtener el módulo elástico de la madera de base usando las ecuaciones siguientes: Maderas blandas: $E_f = 19,5 \rho$, Maderas duras: $E_f = 17,5 \rho$



1 mm (0,8 kg/m²) de vidrio exterior e interior



Dos capas de madera moldeada a $\pm 45^\circ$ sobre las tiras encoladas

Tires encolades amb un fort recobriment de fibra de vidre o fusta modelada

13. Càlcul de la Pressió de Coberta y Superestructures

13.1. FACTOR DE REDUCCIÓ PARA A LES SUPERESTRUCTURES I CASETES

El factor de reducció per a les superestructures i casetes k_{SUP} està definit en la següent taula d'acord amb la seva situació i el tipus d'embarcació.

Situació del panell	k_{SUP} superestructures i casetas	Aplicació
En el front de proa	1	Totes las zones
En el costat	0,67	Zones de pas
En el costat	0,5	Zones de no pas
En la cara posterior	0,5	Totes las zones
Part superior, ≤ 800 mm por encima de la cubierta	0,5	Zones de pas
Part superior, > 800 mm por encima de la cubierta i pisos superiores	0,35	Zones de pas
Pisos superiors*	Pressió mínima de la coberta de 5 kN/m^3	Zones de no pas
* Els elements no exposats a la intempèrie han de considerar-se com pisos superiors.		

L'elecció del factor de reducció, depèn de quina part del vaixell estiguem mirant. Bàsicament, aquest apartat de la norma tracta de forma diferent les diverses parts de la superestructura. Una forma d'aplicar la norma, sense complicar-se molt, és considerar la coberta sencera com a una unitat. D'aquesta manera l'estructura està una mica sobre-dimensionada però el càlcul és més simple. El raonament és que en el cas d'embarcacions petites, és bastant difícilots separar la superestructura com a tal. Això implica usar un k_{sup} , amb el valor d'1. Malgrat pugui semblar molt gran, tinguem en compte que parlant d'un vaixell d'uns 10 metres, quina part de la caseta no és de pas?

És a dir, que part no es trepitja quan el vaixell va escorat, per exemple. Això ja ens elimina tot el que siguin zones de no pas. De la mateixa manera, no serà molt comú tenir una caseta amb més de 800 mm per sobre de la coberta. Per tant, ens quedem sols amb la diferenciació entre front de proa, costat, zona de pas i cara posterior. L'enfocament és relativament raonable ja que s'espera una major pressió en proa pels "rociones". Aquí, de nou, podríem argumentar que en un vaixell petit aquests es produeixen tant en els laterals (almenys en la seva zona més a proa) com en proa pròpiament dit quan el vaixell navega escorat. Amb aquesta premissa ens quedem amb dos alternatives, o bé $k_{sup} = 1$ (per a proa i laterals) y $k_{sup} = 0.5$ en la cara posterior. És en aquesta cara, a on amb més probabilitat estarà l'entrada, i com a tal, un "forat" tan gran com siguem capaços de projectar, doncs ens interessa per facilitar l'ergonomia.

Aleshores, és fàcil d'imaginar el que es pretén transmetre en aquest apartat. Reduir la pressió de disseny de la zona, per acabar posant material per a reforçar l'entrada.

En definitiva, és totalment raonable no utilitzar el factor de correcció per a superestructures en un petit vaixell perquè és difícil inclús topològicament diferenciar-les de la resta de la coberta en molts dissenys.

Això no vol dir que sigui sempre el cas. Una cabina clarament diferenciada de la coberta i amb la suficient entitat pot ser projectada per ser més lleugera utilitzant els factors de reducció. Simplement no sol ser rentable en vaixells petits.

13.2.

Càlcul de la pressió de disseny d'un panell monolític de coberta d'una amplada $b = 1200$ mm i d'una longitud de $l = 1200$ mm, situat a una distancia $x = 2,5$ m.

Al igual que en els casos anteriors, $k_{DC} = 1$ (categoria de disseny A), $k_R = 1$ (panell de coberta d'una embarcació planejadora a motor), i $n_{CG} = 3,255$. El valor del àrea de disseny és $A_D = 1200 \cdot 1200 \cdot 10^{-6} = 1,44$ m² i no pot ser superior (per normativa) a $A_D = 2,5 \cdot 1200^2 \cdot 10^{-6} = 3,6$ m².

$$k_{AR} = \frac{0,1 \cdot 1 \cdot 8000^{0,15}}{1,44^{0,3}} = 0,345$$

El valor de $k_{ARmin} = 0,25$ (panell monolític de coberta), per tant el resultat anterior és vàlid. Aleshores, k_L és igual a:

$x/L_{wl} = 2,5/9,8 = 0,255 < 0,6$ (si fos superior a 0.6, k_L seria igual a la unitat). Per tant,

$$k_L = \frac{1 - 0,167 \cdot 3,255}{0,6} \cdot 0,255 + 0,167 \cdot 3,255 = 0,738$$

Al igual que en les ocasions anteriors:

$$P_{DMBase} = 0,35 \cdot 9,8 + 14,6 = 18.03 \text{ kN/m}^2 > P_{DMmin} = 5 \text{ kN/m}^2$$

Finalment:

$$P_{DM} = 18,03 \cdot 0,345 \cdot 1 \cdot 0,738 = 4,587 \text{ kN/m}^2$$

13.3.

Suposem que tenim un mampar estanc de $b = 1500 \text{ mm}$, $l = 3000 \text{ mm}$ i una altura $h_B = 1,1$. Calcula la pressió de disseny.

La pressió de disseny d'un mampar estanc depèn de l'altura de càrrega d'aigua h_B en metres. Aquest valor (1.1 m), en general, l'ha de conèixer el constructor malgrat que la normativa dóna un seguit d'indicacions.

Finalment:

$$P_{WB} = 7 \cdot h_B = 7 \cdot 1,1 = 7,7 \text{ kN/m}^2.$$

13.4.

Càlcul de la pressió de disseny d'un mirall de popa.

En aquest punt cal indicar que per calcular la pressió de disseny a la que està sotmès un mirall de popa, caldrà considerar-lo com un panell de fons o de costat. Evidentment, mai es considerarà com un panell de superestructura o de coberta.

13.5.

Càlcul de la pressió de disseny d'un panell de costat d'ample $b = 800 \text{ mm}$, eslora del panell 1200 mm , curvatura $c = 10 \text{ mm}$, distància respecte popa de $x = 6 \text{ m}$ i altura des de la flotació fins el límit casc coberta $z = 0,9$. Altura des de el centre geomètric fins la flotació de $h = 0,4 \text{ m}$.

Al igual que en els casos anteriors $k_{DC} = 1$ (categoria de disseny A), $k_R = 1$ (panell de coberta d'una embarcació planejadora a motor), i $n_{CG} = 3,255$. La relació $x/L_{WL} = 6/9,8 = 0,612 > 0,6$. Com que dita relació és superior a 0,6 aleshores $k_L = 1$. El àrea de disseny en aquest cas serà igual a:

$$A_D = 1200 \cdot 800 \cdot 10^{-6} = 0,96 \text{ m}^2$$

$$A_{D\text{superior}} = 2,5 \cdot 800^2 \cdot 10^{-6} = 1,6 \text{ m}^2$$

Finalment el factor de reducció de la pressió segons superfície k_{AR} :

$$k_{AR} = \frac{1 \cdot 0,1 \cdot 8000^{0,15}}{0,96^{0,3}} = 0,389$$

El factor de reducció de la pressió en el costat k_Z , és igual a:

$$k_z = \frac{z - h}{z} = \frac{0,9 - 0,4}{0,9} = 0,556$$

La pressió P_{DMBase} és igual a:

$$P_{DMBase} = 0,35 \cdot 9,8 + 14,6 = 18,03 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{Dmin} = 5 \text{ kN/m}^2$$

La pressió de base en els fons de les embarcacions a motor en la modalitat de planejadora és igual a:

$$P_{BMBbase} = \frac{0,1 \cdot 8000}{9,8 \cdot 2,8} \cdot (1 + 1^{0,5} \cdot 3,255) = 124,052 \text{ kN/m}^2$$

La pressió en el costat per a les embarcacions a motor en la modalitat de planejadora és igual a:

$$P_{SMP} = 18,03 + 0,556 \cdot (0,25 \cdot 124,052 - 18,03) \cdot 0,389 \cdot 1 \cdot 1 = 20,838 \text{ kN/m}^2.$$

$$P_{SMmin} = 0,9 \cdot L_{wl} \cdot k_{DC} = 0,9 \cdot 9,8 = 8,82 \text{ kN/m}^2.$$

14. EXEMPLES D'APLICACIÓ

14.1. CÀLCUL D'UN CONTINGUT TOTAL DE FIBRA EN MASSA

Suposem que estem davant del laminat següent: 300 CSM + 4·(450 CSM + 850 WR). Les seves dimensions són de 100 mm x 100 mm. La massa d'aquest laminat és de 0,131 kg. a). Quina és la quantitat de massa per metre quadrat? b). Quina és la quantitat total de fibra de vidre? c). Quin és el contingut total de fibra en massa?

a) La quantitat de massa per metre quadrat és, sabent que 100 mm = 0,1 m:

$$0,131 \text{ kg} / (0,1 \cdot 0,1) = 13,1 \text{ kg/m}^2$$

El anterior resultat és la massa total del laminat, és a dir, la suma de la massa total de fibra de vidre més la massa de resina continguda en el laminat.

b) La quantitat total de fibra de vidre es calcula a partir de la seqüència donada. (Nota: 300 CSM significa que el gramatge és de 300 gr/m²). Aleshores si sumem totes les quantitats: $w_T = 300 + 4 \cdot (450 + 850) = 5500 \text{ gr/m}^2$. Això expressat en kg és igual a 5,5 kg/m². Una qüestió a remarcar és que el factor 4 significa que la seqüència 450 CSM + 850 WR es repeteix quatre cops.

c) Finalment el contingut total de fibra en massa (ψ) és igual a la relació de la quantitat total de fibra de vidre, entre la massa total del laminat (fibra de vidre + resina), és a dir, $5,5/13,1 = 0,419$

14.2. CONTINGUT DE FIBRA EN MASSA D'UN LAMINAT I EL SEU ESPESSOR

Suposem el cas d'un constructor naval que construeix una embarcació per motlle obert i elegeix la següent seqüència de laminat: Gel Coat + 2·MAT 225 + 3·(ROV/MAT 500/300) + ROV 500. Recordem que aquesta elecció queda únicament en mans del constructor.

Nota: un ROV/MAT 500/300, és un tipus de teixit de fibra de vidre, on en una cara ens trobarem un ROV 500 i en l'altra un MAT 300. Ambdós estan units de fàbrica. Això significa que tenim un gramatge de $500 + 300 = 800 \text{ gr/m}^2$.

a) La quantitat total de fibra de vidre en massa, és igual a (el Gel Coat generalment es menysprea):

$$w_T = 2 \cdot 0,225 + 3 \cdot 0,8 + 0,5 = 3,350 \text{ kg/m}^2$$

b) Per calcular el contingut total de fibra de vidre, necessitem les quantitats parcials de fibra de vidre en massa i els continguts parcials de fibra de vidre (taula C.2):

b.1. Menyspreem la capa de Gel Coat.

b.2. Per la capa de MAT, tenim: $w_1 = 2 \cdot 0,225 = 0,450 \text{ kg/m}^2$ i un $\psi_1 = 0,30$ (superfície simple i motllo obert)

b.3. Per la capa de MAT/ROVING, tenim: $w_2 = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ kg/m}^2$. Per a calcular ψ_2 , hem de trobar R. Aquesta és la relació entre la massa total del MAT en aquesta capa entre la massa total de fibra de dita capa. Per tant, $R = (3 \cdot 0,3) / 2,4 = 0,9 / 2,4 = 0,375$. Aleshores segons la taula C.2, $\psi_2 = 0,46 - 0,18 \cdot R = 0,46 - 0,18 \cdot 0,375 = 0,393$.

b.4. Pel ROVING, $w_3 = 0,5 \text{ kg/m}^2$ i $\psi_3 = 0,48$.

b.5. Finalment:

$$\psi = \frac{w_1 + w_2 + w_3}{\frac{w_1}{\psi_1} + \frac{w_2}{\psi_2} + \frac{w_3}{\psi_3}} = \frac{0,450 + 2,4 + 0,5}{\frac{0,450}{0,3} + \frac{2,4}{0,393} + \frac{0,5}{0,48}} = \frac{3,350}{8,649} = 0,387$$

c) Càlcul del espessor. A partir de la equació C.1 per a la fibra de vidre tipus E, tenim:

$$t = \left(\frac{w}{3,072} \right) \cdot \left(\frac{2,56}{\psi} - 1,36 \right) = \left(\frac{3,350}{3,072} \right) \cdot \left(\frac{2,56}{0,387} - 1,36 \right) = 5,680 \text{ mm}$$

14.3. CONTINGUT DE FIBRA EN MASSA PER A UNA FIBRA DIFERENT A LA DE LA FIBRA DE VIDRE TIPUS E

Suposem que un constructor realitza una embarcació totalment de fibra de carboni amb un laminat unidireccional pel procediment de bossa de buit. Calcula el valor de ψ .

Si mirem la taula C.2, els teixits unidireccional amb bossa de buit tenen un contingut en massa de fibra de vidre de $\psi_{\text{vidre}} = 0,66$. Com que la nostra és una fibra de carboni, es pot estimar ψ mitjançant la expressió que dona la mateixa taula C.2:

$$\psi_{\text{carboni}} = 0,99 \cdot \psi_{\text{vidre}} - 0,08 = 0,99 \cdot 0,66 - 0,08 = 0,573$$

14.4. PROPIETATS EN FLEXIÓ PER A UNA FIBRA DIFERENT A LA DEL VIDRE TIPUS E.

Suposem que un constructor realitza una embarcació totalment de carboni amb un laminat tipus ROVING. El constructor utilitza el procediment de bossa de buit. Calcula les propietats en el pla pel contingut de fibra en massa adequat.

Al ser un teixit ROVING de fibra de carboni, usant la taula C.2 $\psi_{\text{vidre}}=0,58$. Aleshores:

$$\Psi_{\text{carboni}}=0,99 \cdot \psi_{\text{vidre}}-0,08=0,99 \cdot 0,58-0,08=0,494$$

El mòdul de Young “E” i σ_{ut} calcula amb la taula C.5:

$$E = 100000 \cdot \psi - 9000 = 100000 \cdot 0,494 - 9000 = 40400 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{ut}}=900 \cdot \psi - 90 = 900 \cdot 0,494 - 90 = 354,600 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{uc}}=610 \cdot \psi - 55 = 610 \cdot 0,494 - 55 = 246,340 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{uf}}=2,5 \cdot \sigma_{\text{ut}} / (1 + \sigma_{\text{ut}} / \sigma_{\text{uc}}) = 2,5 \cdot 354,6 / (1 + 354,6 / 246,340) = 363,459 \text{ N/mm}^2$$

14.5.

Tenim un contraplacat d'una densitat de 600 kg/m^3 i de set capes. La planxa està sotmesa a una pressió de 60 N/mm^2 . La cara exterior del contraplacat és perpendicular a la dimensió menor del panell. Calcula la resistència de ruptura per flexió segons les dues orientacions i calcula l'espessor pel cas de les fibres perpendiculars a la dimensió “b”.

La densitat de tot el contraplacat (resines i fusta) és de 600 kg/m^3 . Pel que $\rho_{PW} = 600$. El número de capes és 7, pel que $N_{\text{ply}} = 7$. Aleshores, en la taula E.2 pel contraplacat es presenten dos equacions relatives a la resistència de ruptura per flexió.

$$\sigma_{\parallel} = \left(\frac{\rho_{PW}}{1000} \right)^{0.5} \cdot (68 - 2 \cdot N_{\text{ply}} + 0.03 \cdot N_{\text{ply}}^2) = 43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_P = \left(\frac{\rho_{PW}}{1000} \right)^{0.5} \cdot (11 + 6.5 \cdot N_{\text{ply}} - 0.28 \cdot N_{\text{ply}}^2) = 33,137 \text{ N/mm}^2$$

Finalment, podem calcular l'espessor amb:

$$t = b \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}} = \sqrt{\frac{60 \cdot 0.5}{1000 \cdot 0.5 \cdot 33}} = 19.2 \text{ mm}$$

Si elegíssim que les fibres fossin paral·leles a “b” reduiríem el espessor.

Nota: La taula E.4 dona un seguit de valors pre-calculats de les propietats del contraplacat, amb la que obtindríem els mateixos resultats. Observi's que el número de capes és sempre senar (7, 5, 9 y 11). Això es deu a que d'aquesta forma les dos cares exteriors sempre seran, o bé perpendiculars, o bé paral·leles al costat menor. És a dir, mai trobarem un panell amb una capa

exterior amb les fibres paral·leles a “b” y l'altra capa exterior amb les fibres perpendiculars a la mateixa dimensió “b”.

La pregunta que ens podríem fer és quin ha de ser el número de capes i quina ha de ser la densitat del material. En general, no hi ha una resposta tancada. L'elecció depèn de la construcció. En general quantes més capes millors propietats mecàniques però un es pot imaginar que major serà el cost. L'elecció d'una construcció de fusta modelada, contraplacat o “strip planking” és una decisió de disseny. La pregunta que ens hem de plantejar és ¿Amb quina tecnologia volem que es construeixi el vaixell?, ¿quin és l'objectiu?, ¿cost reduït?, ¿baix pes?

14.6.

Calcula l'espessor d'un modelat “in situ” de 4 capes de nom científic “Khaya Anthotheca” (fusta dura) i una densitat per capa d'uns 513 kg/m³. La planxa estarà sotmesa a una pressió d'uns 60 N/mm². La capa exterior està a 90° respecte el costat menor del panell “b”.

Es determina la resistència de ruptura per flexió amb l'ajuda de la taula E.1, usant l'equació d'altres fustes (fusta dura) o la que ve tabulada.

$$\sigma_{uff} = 0.130 \cdot 513 = 67 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{uf} = (0.01 \cdot N_{ply} + 0.17) \cdot \sigma_{uff} = (0.01 \cdot 4 + 0.17) \cdot 67 = 14.07 \text{ N/mm}^2$$

Finalment l'espessor es calcula mitjançant:

$$t = b \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}} = \sqrt{\frac{60 \cdot 0.5}{1000 \cdot 0.5 \cdot 14.07}} = 16.5 \text{ mm}$$

14.7.

Disseny d'un “strip planking”. Calcula l'espessor requerit d'un folre de fusta de 368 kg/m³. Determina la resistència de ruptura per flexió paral·lela a las fibres de la fusta amb ajuda de la taula E.1, utilitzant l'equació d'altres fustes. Determina la tensió d'unes tires de fusta, també tires de fusta amb unes cares d'un mil·límetre de laminat de FRP i amb tires disposades uns 45°. La dimensió menor b = 800 mm.

$$\sigma_{uff} = 0.137 \cdot 368 = 50 \text{ N/mm}^2$$

Per a les tires de fusta soles:

$$\sigma_{uf} = 1.6 \cdot \sigma_{uff} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{\sigma_s}\right)} = 1.6 \cdot 50 \cdot \sqrt{(0.07)} = 21.166$$

Tires de fusta amb les cares cobertes d'un laminat d'un mil·límetre de FRP i amb capes de fusta a +/- 45°.

$$\sigma_{uf} = 1.6 \cdot \sigma_{uff} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{\sigma_s}\right)} = 1.6 \cdot 50 \cdot \sqrt{(0.20)} = 35.777$$

Finalment l'espessor és de:

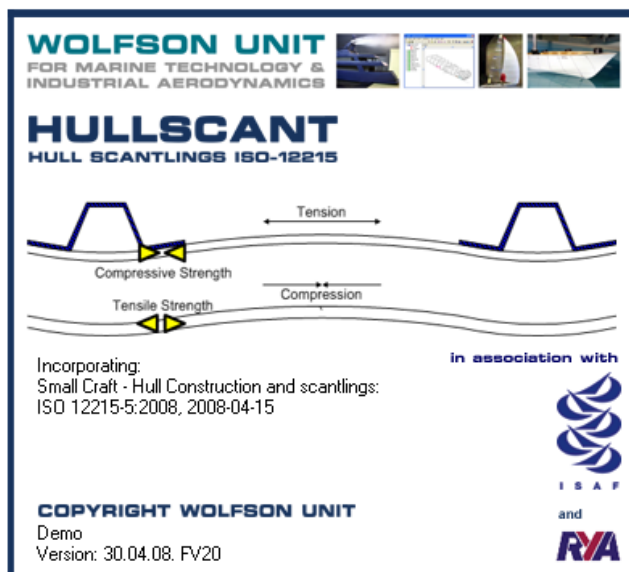
$$t = b \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}} = 800 \cdot \sqrt{\frac{60 \cdot 0.5}{1000 \cdot 0.5 \cdot 36}} = 33 \text{ mm}$$

15. SOFTWARE EXISTENT

15.1. EL HULLSCANT

HullsCant és un programa realitzat per la Wolfson Units Hull Scantlings Program. Hullscant, s'ha desenvolupat amb la col·laboració de la Royal Yachting Association.

HullScant s'utilitza per avaluar els escantillons de velers i motors per sota dels 24 m. El programa escantillona les diferents parts estructurals d'un vaixell amb els requisits establerts en la norma ISO12215, part 5.



El programari HullScant està específicament dissenyat per a tots els constructors i dissenyadors que vulguin avaluar els escantillons de forma

simplificada. L'usuari especifica un conjunt de biblioteques de materials, productes laminats i reforços, els quals poden ser utilitzats per calcular les propietats reals estructurals del vaixell.

HullScant pot calcular requeriments i característiques dels vaixells construïts amb aliatges d'alumini, fusta, acer i de fibra de vidre monolític o laminats tipus sàndwich.

Un dels avantatges de Hullscant és que és capaç de calcular el pes estructural del vaixell. Però ho fa de forma aproximada i és possible que subestimi el pes total d'aquest. La curvatura dels panells del vaixell sols els té en compte en la direcció curta d'aquests i no en la llarga. La curvatura del reforç sols els té en compte en la direcció llarga i en menysprea en la curta. L'estimació tampoc inclou el pes addicional d'elements estructurals, com ara la capa d'epoxy de la fusta, pasta d'unió central, gel-coat, soldadures, etc. També, un dels problemes de Hullscant és que el pes estimat és la suma del conjunt del pes de tots els panells. Això pot ser un avantatge si la nostra embarcació té com a objectiu reduir pes a base de mantenir en la realitat cadascun dels escantillons calculats. Però normalment, el que es fa és construir tot el casc amb el màxim espessor de tots els panells. D'aquesta forma es facilita la construcció.

Hullscant dona cinc taules de resultats: *Boat particulars*, *General calculations*, *panel geometry an calculations*, *panel results* i *stiffeners*.

Obtenir la versió completa de Hullscant costa a hores d'ara uns 1.350€, és un preu que en molts casos pot resultar molt elevat per a petits constructors, per això es va pensar la idea de fer un software més a l'abast del petit enginyer, i també d'un ús més clar i entenedor.

16. EL NOSTRE SOFTWARE

16.1. ESPECIFICACIÓ DEL PROGRAMA

És important realitzar una especificació del programa com a pas previ de la implementació, ja que ens permet definir les funcionalitats a desenvolupar i ens dona una idea del funcionament d'aquestes.

Primerament analitzarem els requisits, que ens donaran una idea sobre quin tipus de sistema es vol construir, les especificacions ens donaran una idea més detallada de quin sistema es decideix construir.

16.2. ANÀLISI DE REQUERIMENTS

En aquest apartat analitzarem els requeriments funcionals i els no funcionals necessaris per a l'aplicació desenvolupada.

Aquests requeriments s'han desenvolupat tenint en compte les necessitats de l'usuari i s'ha intentat fer una aplicació el més intuïtiva possible.

A continuació s'exposen de forma detallada els requeriment funcionals i els requeriments no funcionals considerats a l'hora de realitzar l'aplicació.

16.2.1. REQUERIMENTS FUNCIONALS:

Són aquells que defineixen el funcionament o funcionalitats proporcionades per el sistema i realitzades mitjançant el software mitjançant els càlculs, detalls tècnics, manipulació de dades i altres funcionalitats específiques que mostraran com els casos d'ús seran portats a la pràctica.

Contemplem els següents:

- L'aplicació ha de permetre a l'usuari, mitjançant la inserció de les dades demanades, conèixer l'espessor requerit del panell per complir la normativa ISO 12215.
- L'aplicació ha de permetre a l'usuari, mitjançant la inserció de les dades demanades, conèixer els paràmetres que són utilitzats, i els seus valors, en la normativa ISO 12215.
- L'aplicació ha de poder funcionar encara que l'usuari no introdueixi totes les dades, tot i que això impliqui no obtenir tots els resultats desitjats.

- L'aplicació ha de permetre a l'usuari desar les dades introduïdes per a un ús o una edició posterior.
- L'aplicació ha de permetre a l'usuari obrir un projecte desat anteriorment.
- L'aplicació ha de ser entenedora i didàctica, ha de tenir una ajuda amb imatges i explicacions i ha de ser intuïtiva i d'ús senzill.

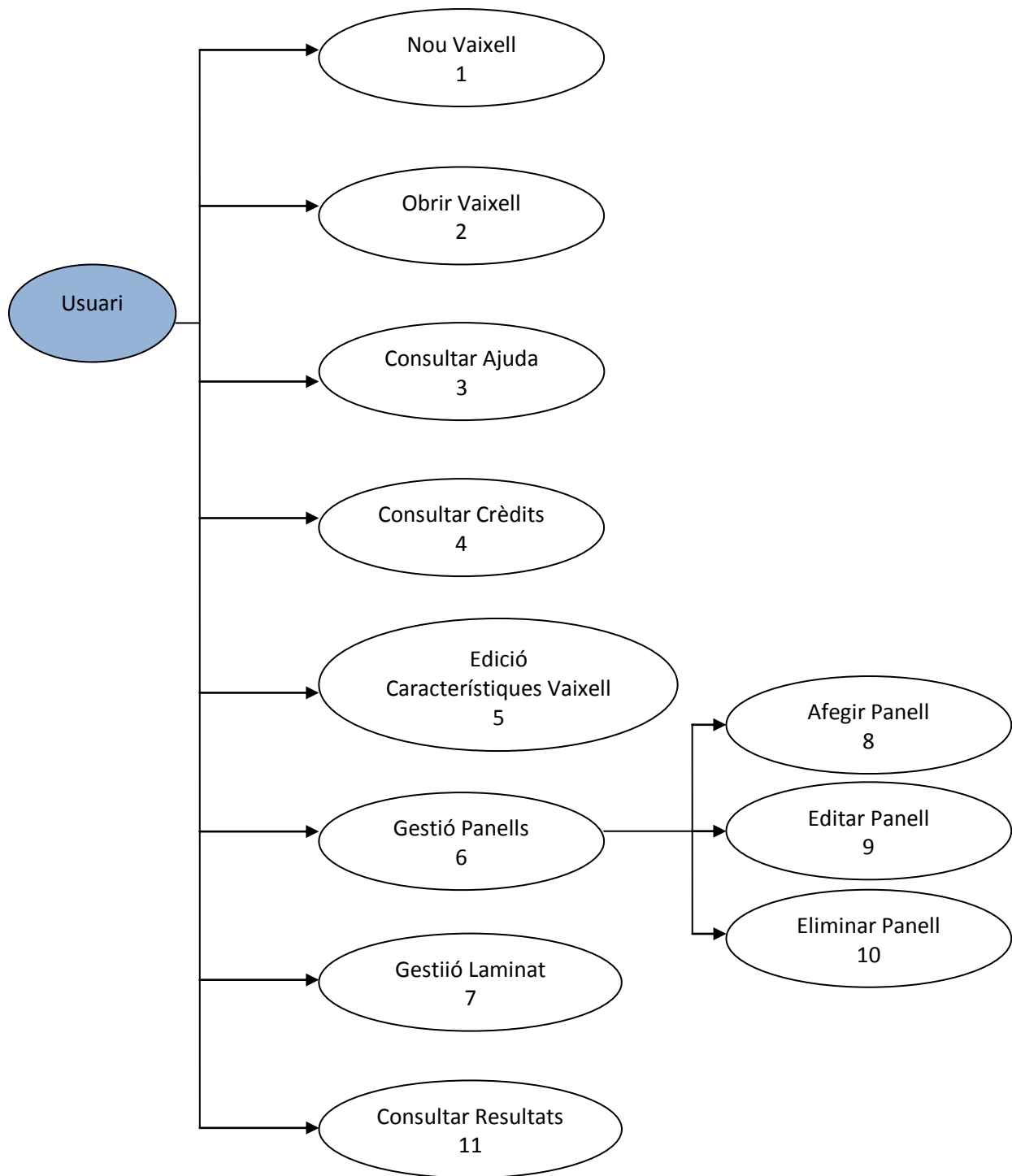
16.2.2. REQUERIMENTS NO FUNCIONALS:

Són aquells que especifiquen aquells aspectes desitjats del sistema que no es corresponen a funcionalitats i accions a realitzar per l'usuari.

Contemplem els següents:

- Llenguatge de programació: L'aplicació serà desenvolupada íntegrament en java, mitjançant la plataforma NetBeans IDE 6.9.1.
- Mantenibilitat i extensibilitat: El codi ha de ser estructurat i de fàcil comprensió i ha de permetre fer futures extensions més àmplies amb noves funcions.
- Software: No s'ha de requerir de cap software específic per executar l'aplicació.
- Hardware: No s'ha de requerir de cap hardware específic per a executar l'aplicació. L'ordinador on s'executi l'aplicació no ha de tenir cap hardware fora de lo comú.
- Interfície senzilla i comprensible: S'ha de desenvolupar una interfície d'usuari de fàcil ús per al usuari, la interfície ha d'estar ben estructurada, separant les diferents parts i s'ha de plantejar d'una forma en que l'usuari es senti guiat pas a pas.
- L'aplicació ha d'avisar de possibles errors al usuari i donar-li ajuda.

16.3. DIAGRAMA DE CASOS D'ÚS:



16.4. ESPECIFICACIÓ DE CASOS D'ÚS:

L'especificació ens permetrà saber la seqüència de passes necessàries per a que succeeixi una funcionalitat de l'aplicació. A continuació s'especifiquen tots els casos d'ús mostrats anteriorment.

1. Nou Vaixell

Descripció: L'usuari indicarà al sistema el nom del nou arxiu i a on el vol desar.

Rols: Usuari.

Objectiu: Definir nom del arxiu i lloc on es desarà.

Precondició:

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari sol·licita crear un nou vaixell.	2. El sistema pregunta a l'usuari quin nom li vol posar i a on el vol desar.
3. L'usuari introdueix les dades sol·licitades pel sistema.	4.El sistema condueix al cas d'ús menú, amb la informació emmagatzemada.
5.Fi del cas d'ús.	

2. Obrir Vaixell

Descripció: L'usuari indica al sistema quin és el fitxer que vol obrir i on es troba.

Rols: Usuari.

Objectiu: Carregar vaixell guardat.

Precondició: S'ha guardat anteriorment un altre vaixell

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari sol·licita obrir un vaixell existent.	2. El sistema pregunta a l'usuari quin és el fitxer i on es troba.
3. L'usuari selecciona el fitxer.	4.El sistema carrega el fitxer.
5.Fi del cas d'ús.	

3. Consultar ajuda

Descripció : L'usuari pot consultar l'ajuda organitzada per un índex temàtic.

Rols: Usuari.

Objectiu: Consultar l'ajuda del programa per a resoldre dubtes respecte el seu funcionament.

Precondició:

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari sol·licita consultar l'ajuda.	2. El sistema mostra a l'usuari un índex temàtic dels temes de l'ajuda.
3. L'usuari pot navegar pels diferents temes de l'ajuda i resoldre els dubtes que tingui.	
4.Fi del cas d'ús.	

4. Consultar crèdits

Descripció: L'usuari pot consultar l'ajuda organitzada per un índex temàtic.

Rols: Usuari.

Objectiu: Consultar l'ajuda del programa per a resoldre dubtes respecte el seu funcionament.

Precondició:

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari sol·licita consultar els crèdits.	2. El sistema mostra a l'usuari els crèdits.
3.Fi del cas d'ús.	

5. Edició característiques vaixell

Descripció: L'usuari introdueix les dades requerides o les que disposa. I el sistema les emmagatzema al sistema.

Rols: Usuari.

Objectiu: Introduir al programa les característiques del vaixell requerides.

Precondició:

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari ha introduït totes les dades, el programa el condueix al cas d'ús menú i desa les dades introduïdes.
3.Fi del cas d'ús.	

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari no ha introduït totes les dades el programa li fa saber i li pregunta si vol continuar o vol editar les dades.
3. L'usuari tria continuar	4.El sistema el condueix a menú i desa les dades introduïdes per l'usuari.
5.Fi del cas d'ús.	

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari no ha introduït totes les dades el programa li fa saber i li pregunta si vol continuar o vol editar les dades.
3. L'usuari tria editar	4.El sistema el retorna a Característiques vaixell fins que l'usuari hagi introduït totes les dades o premi la opció continuar.
5.Fi del cas d'ús.	

6. Gestió panells

Descripció: L'usuari introdueix les dades requerides o les que disposa. I el sistema les emmagatzema al sistema.

Rols: Usuari

Objectiu: Introduir al programa les característiques del panell requerides

Precondició: S'han d'haver introduït prèviament les característiques del vaixell requerides, o de les que disposa l'usuari.

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari ha introduït totes les dades, el programa el condueix al cas d'ús laminat i desa les dades introduïdes.
3.Fi del cas d'ús.	

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari no ha introduït totes les dades el programa li fa saber i li pregunta si vol continuar o vol editar les dades.
3. L'usuari tria continuar	4.El sistema el condueix a laminat des de les dades introduïdes per l'usuari.
5.Fi del cas d'ús.	

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari no ha introduït totes les dades el programa li fa saber i li pregunta si vol continuar o vol editar les dades.
3. L'usuari tria editar	4.El sistema el retorna a Característiques Panell fins que l'usuari hagi introduït totes les dades o premi la opció continuar.
5.Fi del cas d'ús.	

7. Gestió laminat

Descripció: L'usuari introdueix les dades requerides o les que disposa. I el sistema les emmagatzema al sistema.

Rols: Usuari.

Objectiu: Introduir al programa les característiques del laminat.

Precondició: S'han d'haver introduït prèviament les característiques del panell requerides, o de les que disposa l'usuari.

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari ha introduït totes les dades, el programa el condueix al cas d'ús Llista Panells i des de les dades introduïdes.
3.Fi del cas d'ús.	

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari no ha introduït totes les dades el programa li fa saber i li pregunta si vol continuar o vol editar les dades.
3. L'usuari tria continuar	4.El sistema el condueix a Llista Panells i desa les dades introduïdes per l'usuari.
5.Fi del cas d'ús.	

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari introdueix les dades requerides pel programa o les que disposa.	2. Si l'usuari no ha introduït totes les dades el programa li fa saber i li pregunta si vol continuar o vol editar les dades.
3. L'usuari tria editar	4.El sistema el retorna a Laminat fins que l'usuari hagi introduït totes les dades o premi la opció continuar.
5.Fi del cas d'ús.	

8. Afegir Panell

Descripció: L'usuari afegeix un panell.

Rols: Usuari.

Objectiu: Afegir un panell.

Precondició: S'han d'haver introduït prèviament les característiques del vaixell requerides, o de les que disposa l'usuari.

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari afegeix un panell	2. El programa obre el cas d'ús Característiques Panell
3.Fi del cas d'ús.	

9. Editar Panell

Descripció: L'usuari edita un panell.

Rols: Usuari.

Objectiu: Editar un panell.

Precondició: S'ha d'haver introduït un panell prèviament.

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari edita un panell	2. El programa obre el cas d'ús Característiques Panell
3.Fi del cas d'ús.	

10. Eliminar Panell

Descripció: L'usuari elimina un panell.

Rols: Usuari.

Objectiu: Eliminar un panell.

Precondició: S'ha d'haver introduït un panell prèviament.

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari elimina un panell	2. El programa elimina el panell seleccionat
3.Fi del cas d'ús.	

11. Consultar resultats

Descripció : L'usuari visualitza una llista amb els resultats del panells seleccionat.

Rols: Usuari.

Objectiu: Visualitzar una llista amb els resultats dels panell seleccionat.

Precondició: S'ha d'haver introduït un panell.

Curs típic d'esdeveniments:

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari prem la opció calcular	2. El programa calcula els resultats del panell en qüestió
3.Fi del cas d'ús.	

Accions de l'usuari	Resposta del sistema
1. L'usuari prem la opció tornar	2. El programa obre el cas d'ús Llista Panells
3.Fi del cas d'ús.	

17. TECNOLOGIES UTILITZADES

Java:



Java va ser dissenyat per James Gosling, de Sun Microsystems, el 1990, com a programari per a dispositius electrònics de consum, com calculadores i microones. Inicialment es va anomenar Oak (roure en anglès), encara que va haver de canviar pel fet que aquest nom ja estava registrat per una altra empresa.

Al inici Gosling va observar que moltes de les característiques que oferien C o C++ per a aquest tipus de dispositius augmentaven de forma alarmant el gran cost de proves i depuració. Per això en els seus estones lliures va crear un llenguatge de programació on intentava solucionar les fallades que trobava en C++. És a dir, en lloc de tractar únicament d'optimitzar les tècniques de desenvolupament i donar per fet la utilització de C o C++, l'equip de Gosling es va plantejar que potser aquests llenguatges eren massa complicats com per aconseguir reduir de forma apreciable la complexitat associada a aquest camp. Per això, la seva primera proposta va ser idear un nou llenguatge de programació el més senzill possible, amb l'objectiu que es pogués adaptar amb facilitat a qualsevol entorn d'execució. Basant-se en el coneixement i estudi de gran quantitat de llenguatges, va decidir recollir les característiques essencials que havia de tenir un llenguatge de programació modern i potent, però eliminant totes aquelles funcions que no eren absolutament imprescindibles.

L'èxit de Java resideix en diverses de les seves característiques. Java és un llenguatge senzill, o tot el senzill que pot ser un llenguatge orientat a objectes, eliminant la major part dels problemes de C++, que va aportar el seu granet de sorra als problemes de C. És un llenguatge independent de plataforma, de manera que un programa fet en Java s'executarà igual en un PC amb Windows que en una estació de treball basada en Unix. També cal destacar la seva seguretat, desenvolupar programes que accedeixin il·legalment a la memòria o realitzar troians és una tasca pròpia de titans.

Cal esmentar també la seva capacitat multi-fil, la seva robustesa o la integració que té el protocol TCP / IP, el que ho fa un llenguatge ideal per a Internet. Però és la seva senzillesa, portabilitat i seguretat el que l'han fet un llenguatge de tanta importància.

L'empresa Oracle ofereix gratuïtament la distribució del JDK (Java Development Kit). El JDK és un producte que permet crear aplicacions en Java. Aquest paquet inclou un conjunt d'eines que permet compilar, depurar, generar documentació i interpretar codi escrit en Java.

Hi ha disponibles al mercat diferents versions del JDK, la més recent és la versió 1.7 que es pot descarregar de la pàgina oficial d'Oracle.



Per poder executar qualsevol aplicació Java en qualsevol sistema operatiu és necessari tenir instal·lat el JRE (Java Runtime Environment - Entorn de desenvolupament de Java). El JRE es compon d'eines necessàries com la màquina virtual de java i el conjunt de llibreries estàndard de Java. El JDK també inclou el JRE.

NetBeans:

És un entorn de desenvolupament integrat lliure, fet principalment per al llenguatge de programació Java. Existeix a més un nombre important de mòduls per estendre. NetBeans IDE és un producte lliure i gratuït sense restriccions d'ús. La plataforma NetBeans



permet que les aplicacions siguin desenvolupades a partir d'un conjunt de components de programari anomenats mòduls. Un mòdul és un arxiu Java que conté classes de java escrites per interactuar amb les APIs de NetBeans i un arxiu especial (manifest file) que l'identifica com a mòdul. Les aplicacions construïdes a partir de mòduls poden ser esteses agregant-li nous mòduls. A causa que els mòduls poden ser desenvolupats independentment, les aplicacions basades en la plataforma NetBeans poden ser esteses fàcilment per altres desenvolupadors de programari.

18. IMPACTE AMBIENTAL I SOCIAL

Aquest projecte està enfocat a facilitar l'enteniment i l'ús de la norma ISO 12215 i aquesta norma tracta sobre obtenir un escantillonat amb correctes condicions de seguretat per al vaixell que volem construir optimitzant l'espessor de les planxes. Es tracta d'aconseguir la màxima resistència als diferents esforços utilitzant la mínima quantitat de material. A més de significar un estalvi important per a la nostra butxaca i tenir garanties suficients de seguretat en la navegació, suposa una disminució del impacte ambiental per al nostre planeta.

Molts dels materials usats per a la construcció, sobretot quan es tracta de resines, són contaminants i nocives pel planeta i per a les persones, amb l'aplicació d'aquesta norma s'aconsegueix una reducció important de l'ús d'aquests elements contaminants en el procés constructiu.

19. CONCLUSIONS

19.1 OBJECTIUS ASSOLITS

Amb aquest treball he assolit l'objectiu d'aprendre programació bàsica amb java i html, amb els coneixements adquirits no descarto fer un altre programa en el futur o bé ampliar aquest amb noves ISO.

També he assolit un coneixement més profund sobre l'ISO 12215, ISO molt important, així com molt utilitzada, en la construcció d'embarcacions d'esbarjo.

Un tercer objectiu assolit és el de la creació d'un programa que faciliti l'aplicació de l'ISO 12215 a enginyers en casos pràctics. El programa no contempla tota l'ISO però representa una ajuda fiable a l'hora de calcular certs paràmetres i a l'hora de definir quin ha de ser l'espessor dels panells monolítics.

19.2 FUTURES AMPLIACIONS

S'ha procurat que el programa quedés obert, de tal manera que en el futur es puguin realitzar ampliacions. L'ampliació inicial seria la d'abastar tota l'ISO 12215 és a dir panells i reforços, monolítics i sandwich. Un cop s'hagi implementat tota l'ISO, es pot pensar d'ampliar el programa incloent-hi noves ISO com per exemple la referent a la construcció del timó o qualsevol altre.

19.3 VALORACIÓ PERSONAL

Aquest projecte va néixer a partir de la idea d'un amic i meva, i sobretot, gràcies al projecte Llagut 2.0 en el que vaig participar. El projecte Llagut 2.0 em va motivar per indagar més en el tema dels materials de fibra fins que vaig arribar a la norma ISO 12215. Amb el meu company vam observar que tan sols hi havia un programa, el Hullscant que permetia fer càlculs utilitzant l'ISO 12215 i que el programa no era prou clar en moltes coses, a més que és un programa força car d'adquirir. Vam pensar que es podria dissenyar un programa més senzill, més clar i més a l'abast de petits enginyers. La idea inicial va ser treure un rendiment econòmic en el futur a mitjà termini.

De seguida em vaig il·lusionar i vaig veure que era una oportunitat única per aprendre programació bàsica que és un tema que crec que se li hauria de donar més importància a totes les enginyeries en general. Vam ajuntar-nos amb un altre amic estudiant d'enginyeria informàtica a la UPC i vam començar a desenvolupar el programa. Al principi em va costar bastant, tant posar-me al dia amb l'ISO 12215 com entendre els fonaments de la programació, però amb l'ajuda inestimable dels meus amics vaig acabar entrant en ambdós temes fins

a arribar al producte final. L'aprenentatge dels fonaments de la programació amb java i html, l'ús de l'editor java Netbeans, i l'enteniment de l'ISO 12215.

En definitiva aquest projecte ha suposat un repte per a mi en tots els sentits, he après, que és el més important en aquest moment de la meua vida, i acabo satisfet de la feina feta i dels nous coneixements adquirits, que de ben segur em seran d'utilitat en un futur professional proper.

20. BIBLIOGRAFIA

- Norma UNE-EN-ISO 12215-5:2008
- Norma UNE-EN-ISO 8666:2002
- Norma UNE-EN-ISO 12215-6:2008
- Cómo Diseñar un Barco. Una guía paso a paso de todas las fases del diseño de barcos de motor y de veleros. Autor: John Teale. Editorial Tutor 2002.
- Principles of yacht design. 3ª ed. London. Autor: Larsson Lars. Ed. Adlard Coles Nautical. 2007.
- Materiales compuestos: procesos de fabricación de embarcaciones. Autor: Alejandro Besednjak. Univ. Politèc. de Catalunya, 2009
- Apuntes de Alejandro Besednjak: Projecte Llagut 2.0
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/16304>
- <http://www.aprendeaprogramar.com/course/index.php>
- <http://www.compunauta.com/forums/linux/programacion/java/ebook.html>
- http://wiki.netbeans.org/Avbravo_TutorialesEspanol